

Л. Д. БЕЛЫЙ

Инженерная геология

*Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебника для студентов
строительных специальностей вузов*



МОСКВА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1985

ББК 26.3

Б44

УДК 624.131.1

Рецензенты:

кафедра «Основания и фундаменты» Киевского инженерно-строительного института (зав. кафедрой С. А. Слюсаренко);

проф., д-р геол.-минер. наук Р. С. Зиянгиров (Производственный научно-исследовательский институт инженерных изысканий Госстроя СССР)

Белый Л. Д.

Б44 Инженерная геология: Учебник для строит. спец. вузов. — М.: Высш. шк., 1985. — 231 с., ил.

В пер.: 85 к.

В книге с позиций современного состояния науки рассмотрены достижения и задачи инженерной геологии. В ней содержатся необходимые сведения об инженерно-геологическом обосновании возведения различных сооружений. В отличие от существующих книг по инженерной геологии в настоящем учебнике изложены проблемы, связанные с дальнейшим совершенствованием методологических основ инженерной геологии; особое внимание уделено учению о формациях как теоретическому аспекту образования осадочной оболочки Земли, процессам литогенеза и тектонофизики.

Б 3202000000—181
001(01)—85 157—85

ББК 26.3

6С1

© Издательство «Высшая школа», 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

В учебнике изложены задачи современного инженерно-геологического исследования условий строительства различных видов сооружений, приведено описание строения Земли, а также эндогенных и экзогенных процессов, возникающих в ходе ее геологического развития. Большое внимание уделено формационному анализу, отвечающему на вопросы закономерного формирования естественных сообществ (ассоциаций) горных пород в земной коре под влиянием тектонических и климатических факторов. Изложены методы производства геологической съемки и описаны геологические карты, основанные на возрастном (палеонтологическом) принципе, а также формационный принцип составления инженерно-геологической карты. Отдельные главы посвящены составу, содержанию и способам инженерно-геологических изысканий, которые служат для обоснования проектов различных видов сооружений.

По сравнению с ранее изданными книгами по инженерной геологии в настоящем учебнике сделана попытка систематизировать те из существующих разделов геологии, геофизики, геохимии, гидрогеологии и механики горных пород, с помощью которых можно объяснить структурные формы геологической среды с акцентом на ее изменения под влиянием строительной деятельности человека.

Введение, § 5.1, 14.1, 14.2, 14.4, 14.8 написаны в соавторстве с Б. А. Гранитом.

Автор приносит глубокую благодарность проф. Р. С. Зиангирову и сотрудникам кафедры механики грунтов и инженерной геологии Киевского инженерно-строительного института доцентам Г. П. Степаненко, В. И. Хазину, Н. В. Корниенко за просмотр рукописи, сделанные замечания и пожелания, а также Б. А. Граниту за большую помощь в подготовке рукописи к изданию.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Выступления Генерального секретаря ЦК КПСС товарища К. У. Черненко на февральском, апрельском и октябрьском (1984 г.) Пленумах ЦК КПСС содержат широкую программу по осуществлению крупных социально-экономических преобразований в промышленности и сельском хозяйстве нашей страны в одиннадцатой и новой двенадцатой пятилетках. В связи с этим в настоящее время уделяется большое внимание подготовке строителей в области инженерной геологии.

Инженерная геология изучает геологическую среду как среду для инженерных сооружений с целью ее рационального использования при строительстве. Она обосновывает наилучшее сочетание сооружения с данной геологической средой. В ее задачи входит описание всего, что определяет технические возможности возведения сооружения в конкретной природной обстановке и условия, обеспечивающие надежность и долговечность сооружения.

К числу дисциплин, рассматривающих происхождение, условия залегания, физико-механические и водные свойства горных пород, относятся естественные и математические дисциплины: геология, гидрогеология, геофизика, сейсмология, механика грунтов и др.

Академик Е. М. Сергеев первым указал на необходимость развития нового направления в геологии, непосредственно не связанного с добычей полезных ископаемых, а изучающего поверхностную часть земной коры, как среду жизни и деятельности человека. Эту задачу выполняет инженерная геология.

Рассматривая инженерную геологию как науку, объектом изучения которой является геологическая среда, важно определить понятие «геологическая среда». Наиболее точно определение может быть сформулировано следующим образом: геологическая среда — это пространство регионального уровня, представляющее те части литосферы, на которые распространяется жизнедеятельность человека и влияние внешних геосфер: космосферы, атмосферы, гидросферы, биосферы и криосферы.

В учебнике большое внимание уделено рассмотрению геологической среды на различных уровнях, начиная от глобального и кончая локальным. На глобальном уровне среда характеризуется воздействием на ее состояние и изменения, главным образом, космических и эндогенных факторов. Техногенное воздействие пока не распространяется на глобальную геологическую среду или выражено относительно слабо.

Локальная среда — непосредственное окружение сооружений и промышленных комплексов — находится под воздействием как названных природных факторов, так и под значительным влиянием сооружений и технологических процессов, протекающих в них. Промежуточное положение занимает региональная среда, которая является частью глобальной среды. Ее особенности пока определяются преимущественно природными факторами, среди которых на первое место выступают зональные географические факторы, формирующие геологическую среду тундры, тайги, лесостепи, степи, пустыни и т. д.

На региональном уровне воздействие человека на природу проявляется, например, в виде изменения природных биокomпонентов совместно с физико-геологическими факторами, что выражается в определении конкретных связей между геологической средой и сооружением.

В соответствии с концепцией сложного, многоуровневого строения геологической среды в учебнике имеется ряд глав, посвященных рассмотрению Земли в целом (гл. 1 и 2), региональным особенностям отдельных участков земной коры (гл. 3, 10, 11, 12), детальному рассмотрению локальных участков застраиваемых территорий (гл. 4, 6, 8 и др.) и, наконец, рассмотрению минерала, как элементарного образования в земной коре, и горной породы (грунта), как соединения минералов на элементарном уровне (гл. 1, 5).

Значительное место в учебнике уделено геологическим процессам, описанным в гл. 6—12. Знание их необходимо строителям, так как в современных условиях геологические процессы активизируются на территориях городов, в районах добычи полезных ископаемых и водохранилищ. Расширяются подтопленные грунтовыми водами территории, наблюдаются оползни по берегам водохранилищ, абразионная переработка берегов в некоторых случаях превышает прогнозную.

В учебнике большое внимание также уделено методам инженерно-геологических изысканий и исследований.

По новым учебным программам эти разделы курса изучаются в ходе технологической практики. Организация, технология и техника инженерных изысканий рассмотрены в гл. 13—16.

В целом в учебнике в соответствии с учебной программой дан материал по общей геологии, грунтоведению, гидрогеологии, инженерной геодинамике и методологии инженерных изысканий. Освоение студентами строительных вузов всех разделов учебника необходимо для повышения качества и надежности строительства.

ВЕЩЕСТВО, СТРОЕНИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕМЛИ

1.1. СВЕДЕНИЯ О МИНЕРАЛАХ И ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Минералы и их химический состав. Вещество Земли состоит из химических элементов, известных нам по таблице Д. И. Менделеева. К химически активным элементам, образующим разнообразные химические соединения, относятся кислород, кремний, алюминий, железо, магний, натрий и калий.

Некоторые химические соединения состоят из солей серной, соляной, фосфорной, угольной и азотной кислот. Одни химические элементы присутствуют в Земле самостоятельно и поэтому называются самородными; к ним относят золото, углерод, платину, железо, серу. Часть химических элементов, например уран, переходит в другие элементы. При его радиоактивном распаде образуется гелий, свинец, родонит, радий.

Многие химические элементы при окислении или восстановлении видоизменяются за счет потери или увеличения количества электронов. Химические элементы располагаются то закономерно, образуя в минералах правильные кристаллические решетки (кристаллическое вещество), то беспорядочно (аморфное вещество). Минералы представляют, таким образом совокупность химических элементов, находящихся в определенных количествах, соотношениях и связях. В Земле находится свыше 3000 минералов. Они встречаются в твердом, жидком и газообразном состояниях.

Изучением минералов занимается минералогия, а кристаллов и кристаллических соединений вещества — кристаллография, объединяющая учение о симметрии кристаллов, их формах и геометрии структур. Физическая кристаллография и кристаллохимия исследуют зависимость между физическими и химическими свойствами кристаллов и их строением.

Минералогия позволяет установить весьма существенные теоретические положения, широко используемые в разведочном деле: 1) минералы в природе находятся в закономерно выраженных парагенетических ассоциациях или сообществах, т. е. совместном нахождении определенных сочетаний минералов (например, кварц, слюда, роговая обманка); 2) минералы имеют многогранную форму благодаря гранным углам, всегда постоянным и свойственным только веществу определенного химического состава.

Минералы подразделяют на несколько классов: самородные, сульфиды (сернистые соединения); галоидные соединения; оксиды и соли кислородных кислот.

В класс самородных минералов входит около 30 химических элементов, представляющих собой металлы и газы (например, Au — золото, C — алмаз).

Сульфиды — соединения химических элементов с серой; они легко окисляются в присутствии кислорода и переходят в оксиды карбонатов или сульфатов (FeSO_2 — пирит, CuFeS_2 — халькопирит, PbS — галенит, ZnS — сфалерит).

Галоидные соединения представляют собой соли соляной, фтористой, бромистой и йодистой кислот (NaCl — галит, KCl — сильвин, $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ — карналит).

Оксиды — химические элементы, связанные с кислородом; распространены весьма широко ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ — лимонит, Fe_3O_4 — магнетит, Fe_2O_3 — гематит, SiO_2 — кварц).

Соли кислородных кислот представлены несколькими подклассами: нитратами (соли азотной кислоты), сульфатами (соли серной кислоты), карбонатами (соли угольной кислоты), фосфатами (соли фосфорной кислоты) и силикатами — алюмокремниевыми кислородными соединениями (CaCO_3 — кальцит; $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ — доломит, FeCO_3 — сидерит; $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ — малахит, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — гипс, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 (\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ — апатит, $(\text{Fe}, \text{Mg})_2\text{SiO}_4$ — оливин, $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ — анортит и др.).

Химические элементы и образуемые ими минеральные соединения распределяются в Земле, как об этом свидетельствует геофизика, соответственно их физическому состоянию, химическому составу и плотности.

Классификация горных пород. Так же как минералы представляют определенные закономерные сочетания — сообщества различных химических элементов, так и минералы определенных сообществ представляют собой горные породы.

В горных породах находятся породообразующие минералы. Могут встречаться также и дополнительные минералы, называемые акцессорными. Они присутствуют редко и в малых количествах в общей массе породы, но часто являются характерной маркирующей частью некоторых пород. Таким образом горные породы это парагенетические всегда находящиеся вместе сообщества минералов, образующих самостоятельные геологические тела. Строение горных пород или их структура характеризуется формой, размерами и взаимным расположением в них минералов, а также видом их связи. Одни породы состоят из минералов, находящихся в простом соединении друг с другом, другие минералы связаны железистым, кремниевым, карбонатным, гипсовым или глинистым цементом, третьи — спаяны между собой, наконец, минералы могут быть заключены в стекловатную массу. Строение пород находит свое выражение не только в их структуре, но и в пространственном расположении минеральных частиц, в их сложении, то, что получило название текстуры. Для пород осадочных характерно слоистое

сложение. Магматические породы имеют массивное сложение, формирующееся при кристаллизации магмы на глубине в условиях высокого давления. Для магматических пород, излившихся на поверхность, характерна шлаковая, или пузырчатая, и другая текстура. Метаморфические породы характеризуются сланцевым сложением или текстурой, они приобретают плитообразный характер и расчленяются по плоскостям, именуемым плоскостями сланцеватости.

Магматические породы (табл. 1.1) произошли при остывании расплавленного внутриземного вещества, называемого магмой. Слой гранитов, являющийся верхней оболочкой земной коры на континентах, и подстилающие ее базальты, по-видимому, в допалеозойские времена находились в расплавленном состоянии. Остывание и кристаллизация в условиях высокого давления способствовали образованию магматических пород, называемых, кроме того, интрузивными глубинными. Магматические интрузивные породы, лежащие ближе к поверхности Земли в областях с меньшим давлением, называют полуглубинными, а магму, излившуюся на поверхность Земли при остывании в условиях атмосферного давления, излившейся или эффузивной.

Магматические породы различают по структуре, зависящей от формы и величины зерн минералов. При размере зерен минералов более 5 мм породы относят к крупнозернистым; при размере зерен от 2 до 5 мм — к среднезернистым и при размере до 2 мм — к мелкозернистым. Для эффузивных пород характерны стекловатая, неполнокристаллическая и порфировая структуры.

Осадочные породы (табл. 1.2) образовались путем осаждения минеральных частиц из воды, воздуха и тающих льдов, а также путем выпадения солей из океанов, морей, озер и других водоемов. Осадочные породы соответственно их вещественному составу и структуре подразделяют на обломочные, химические и биохимические. В земной коре они представлены морскими и континентальными отложениями. Для осадочных пород характерна слоистость, являющаяся весьма важным признаком. По слоям осадочных пород можно прочесть историю их происхождения и геологического развития, а также перемещения береговой линии моря — трансгрессии и регрессии, т. е. смену на материках морских и континентальных эпох и эволюцию органического мира.

Морские отложения подразделяют на прибрежные (литоральные), мелководные (неритовые), среднеглубоководные (батиальные) и глубоководные (абиссальные). Осадки этих зон моря отличаются по составу благодаря положению, занимаемому ими относительно береговой линии и глубины моря. В каждой из названных зон формируется, таким образом, особая фация отложений, представляющая однородный на всем своем протяжении слой, в котором погребены разновозрастные осадки, остатки фауны и флоры.

На суше осадочные породы формировались благодаря деятельности различных природных агентов: воды, ветра и льда. Определенным условиям формирования также отвечают различные фации.

Группы пород и минералов	Химический состав						Структура пород	Текстура пород	Структура горных массивов
	Кислые ($\text{SiO}_2 > 65\%$)		Средние ($\text{SiO}_2 = 52 \dots 65\%$)	Основные ($\text{SiO}_2 = 40 \dots 52\%$)	Ультра-основные ($\text{SiO}_2 < 40\%$)				
	Калиевые	Кальций-натриевые							
Интрузивные	Гранит	Гранодиорит	Сиенит	Диорит	Габбро	Дунит, перидотит Пироксенит	Полнокристаллическая Порфировидная	Массивная Гнейсовая	Батолиты, штоки, лаполиты, фалолиты, дайки, силлы
	Липарит	Дациит	Трахит	Андезит	Базальт долерит Базальтовый порфирит Диабаз		Неполнокристаллическая Порфировая Стекловатая	Массивная Пузыристая Пористая	Покровы, потоки, купола, обелиски
Эффузивные	Липаритовый порфир	Дациитовый порфир	Трахитовый порфир	Андезитовый порфирит					
	Липаритовый порфир	Дациитовый порфир	Трахитовый порфир	Андезитовый порфирит	Базальт долерит Базальтовый порфирит Диабаз				
Породообразующие минералы	Кварц, калиевый полевой шпат, кислый плагиоклаз	Калиевый полевой шпат, средние плагиоклазы	Средние плагиоклазы			Основные плагиоклазы Пироксены, роговая обманка, оливин	Пироксены, оливин	Светлые минералы Цветные минералы	
	Биотит, роговая обманка, пироксены	Биотит, роговая обманка, пироксены	Средние плагиоклазы						

Таблица 1.2

Группы осадочных пород	Генетические подгруппы	Генетические типы	Фации
Морские	Неритовая или до мелководная 200 м	Прибрежно-литоральный, шельфовый	Скал и камней, галечников, песков, илов, ракушечника
	Батнальная 200 ... 3000 м	Глубокого шельфа (континентальный склон)	Голубого (синего), красного, зеленого, вулканического и кораллового илов
	Абиссальная от 3000 м и глубже	Пелагический	Красной глубоководной глины, радиolarиевого, глобигеринового и птероподового илов
Континентально-морские	Дельтовая	Аллювиальный, озерный, болотный	Песков, илов, торфяника
	Лагунная (с повышенной или пониженной соленостью)	Озерный или озерно-морской	Солей и ракушечника
	Эстуариевая (устьевая)	Аллювиально-морской	Глин, илов, ракушечника
Континентальные	Элювиальная	Элювиальный, почвенный	Россыпей, щебня, дресвы, латерита, подзола, болотной почвы, чернозема, каштановой почвы, сероземов, солончаков
	Гравитационная Водная	Коллювиальный, оползневой. Солифлюкционный, лавинный Иллювиальный и пещерных отложений. Делювиальный, пролювиальный. Аллювиальный, аллювиально-озерный	Осыпей, обвалов, оползней, солифлюкаций, лавин Иллювиальных, криогенных пещерных отложений. Делювиальных, селевых, сухих дельт, конусов выноса, лёссовых, русловых, старичных пойменных отложений

Группы осадочных пород	Генетические подгруппы	Генетические типы	Фации
	Гляциальная	Аллювиально-морской озерный	Дельтовых отложений.
			Пресноводных и соленых озер
		Ледниковый	Фирновых, ледовых, моренных отложений
		Флювиогляциальный. Озерно-ледниковый	Озовых, камовых, зондровых отложений. Ленточных отложений
		Ледниково-морской. Азрально-эоловый	Айсберговых, морских морен, морских ленточных глин. Снеговых, метеоритных, вулканических, эоловых песчаных и лёссовых отложений

Так, например, речные воды, размывая и снося вниз по реке взвешенные и влекомые наносы, формировали их отложения, названные аллювием. Аллювий по условиям своего происхождения относится к генетическому типу континентальных отложений и в соответствии с определенными условиями или обстановками образования подразделяется на фации — русловую, пойменную и старичную.

Континентальные образования включают различные генетические подгруппы: аллювиальные, делювиальные, элювиальные, ледниковые, озерные, эоловые и др. (табл. 1.3), отличающиеся от морских не столь резко выраженной слоистостью, а иногда отсутствием слоистости, невыдержанностью мощности слоев по простиранию, неоднородностью состава и др. Различия свойств этих пород, обусловленных также условиями их образования, весьма значительны. Помимо естественно сложившихся генетических подгрупп четвертичных отложений на поверхности земной коры находятся еще отложения, образовавшиеся в результате жизнедеятельности человека, которые можно назвать техногенными.

Метаморфические породы (табл. 1.4) являются продуктами переработки магматических и осадочных пород под воздействием давления, температуры, водяных паров и газов (пневматологических процессов). Различают региональный метаморфизм, охватывающий широкие пространства на поверхности Земли и в ее недрах, а также контактовой (локальный) метаморфизм, связанный с изменением пород в зонах термальных воздействий, например при соприкосновении лавы с осадочной породой или динамических воздействий.

Подгруппа	Тип (факторы денудации и осадкообразования)	Фацции (состав, форма залегания и положения в рельефе)	Подфацции (внутрифацциальные особенности)
Элювиальная	Элювий	Почвенная: глыбовых, щебенчатых, дресвяных, песчаных, глинистых и смешанных неслоистых и неотсортированных продуктов выветривания верхнего горизонта земной коры, распространенных повсеместно в различных условиях рельефа и характеризующихся различной мощностью (от 0 до 15 м) в зависимости от состава коренной породы, климата и экспозиции	
	Почвы: латерит	Гидрато-окисловая глиноземистая; гидратоокисловая железистая, каолиновая и кремнистая, образующиеся в пустынных равнинных и горных условиях аридного климата	
	краснозем	Рыхло-землистые суглиннисто-песчаные латериты начальной степени разложения	
	желтозем	Рыхло-землистые суглиннисто-песчаные латериты максимальной степени разложения	
	подзол	Песчаные кварцевые и супесчаные образования с содержанием от 2 до 5% гумуса пепельного цвета, образующиеся в обильных влажной субнивальных климатических условиях	
	болотные	Рыхло-землистые глинисто-пловатые, торфянистые, содержащие сидеритовые, лимонитовые и другие включения, образования, развитые в субнивальном климате	Зональные мховые, осоковые, древесные включения и линзы, приуроченные к низинной и верховой зонам
	черноземные	Рыхло-землистые суглинистые образования с содержанием от 5 до 15% гумуса, развитие в пустынно-степной зоне семиаридного климата	Галечные, песчаные супесчаные и суглинистые черноземы, крупчатой и слоистой структуры в семиаридной типчатово-полынной зоне

Подгруппа	Тип (факторы денудации и осадкообразования)	Фации (состав, форма залегания и положения в рельефе)	Подфации (внутри-фациальные особенности)
	каштановые	Рыхло-землистые суглинисто-песчаные образования с содержанием от 3 до 15% гумуса, развитые на равнинах пустынно-степных зон семи-аридного климата	Зональные и интразональные Темные мокрые, белые сухие, сухие пухлые, содержащие гипс и глауберову соль
	сероземы	Рыхло-землистые суглинисто-песчаные и супесчаные с незначительным содержанием гумуса, развитые в пустынно-степной зоне в условиях субнижнего климата	
	солонцы	Глинистые структурные образования пустынно-степной зоны аридного климата	
	солончаки	Глинистые, насыщенные слоями карбонатов, сульфатов и др., развитые в пустынно-степной зоне аридного климата	
Гравитационная	Колювий	Подоползневая: глыбово-щебенисто-суглинисто-бесструктурные брекчиевидные продукты оползневого выпадения в плоскости скольжения, в бортах и фронтальной части оползня Подводная: илисто-глинистые образования литоральной зоны морского шельфа Педиментная (предгорная): глыбово-щебенисто-песчаные и глинистые бесструктурные образования, накопившиеся в местах остановки лавин	В плоскости скольжения; в бортах; в нижней фронтальной зоне смещений Илисто-глинистые отложения литеральной зоны морского шельфа Сухие лавины, мокрые (теплые) лавины, шаровые лавины
	Сель	Грязекаменная несвязная: водокаменные и грязекаменные бесструктурные отложения Грязекаменная связная: грязекаменные структурные отложения	—
Аквальная (водная)	Аллювий	Русловая: галечно-песчаная Пойменная: галечно-песчаная в нижней части; суглинисто-песчаная в верхней части поймы Старичная: иловато-глинистая и торфяная	—

Подгруппа	Тип (факторы денудации и осадкообразования)	Фации (состав, форма залегания и положения в рельефе)	Подфации (внутри-фациальные особенности)
	Пролувий	Конусов выноса: глыбово-щебенисто-глинистые и песчаные отложения устьев оврагов. Равнинная: пылеватые пористые лёссовидные отложения плоских водных потоков	—
	Делювий	Плоского смыва: суглинки подножного шельфа склонов и покрывающие склоны Линейного смыва: обломки камней и щебенные отложения в ложбинах стока	От сводной поверхности склонов к их подножию содержание крупных обломков щебенки уменьшается и делювий приобретает характер чистого суглинка
	Озерный	Прибрежная: глинистая, песчаная, илстая, торфяная Донная: песчано-глинистая, соляные корки	Известковые, диатомовые, тонко- и грубодетритусовые, сапропелевые, тростниковые, камышовые, торфяные
	Морской	Литеральная: песчано-галечниковая; ракушниковая; скал и камней; песка и ила Неритовая: иловато-глинистая, глинистая (монтмориллонитовая); песчаные отложения подводного выветривания	—
Субтеррально-аквальная	Спелеолит	Подземно-наземная: травертин-известняковая; сталактиты; сталагмиты; натеки туфа; отложения источников Подземноводная: камни; щебенка, древесина, уголь, обломки руд и другие несложные и неотсортированные отложения, а также экскременты пещерных животных	—
	Ледниковый	Льда и снега: лед, снег, фирн; айсберги, ископаемые льды Моренная: валуны, глыбы, щебень, галька, песок, суглинки в смешанной массе	Морены основные, морены термальные

Подгруппа	Тип (факторы денудации и осадкообразования)	Фашии (состав, форма залегания и положения в рельефе)	Подфашии (внутрifaциальные особенности)
Гляциальная	Флювиогляциальный	Подледниковая: валуны, глыбовые отторженцы Окраинная: пески, галечник, гравий, валуны, глина и илы	— —
	Озерно-ледниковый	Прибрежная: крупнозернистые осадки, валуны, галечники, гравий, слагающие сухие дельты Донная: ленточные глины, супеси и пески, представляющие ритмические отложения	— —
	Ледниково-морской	Шельфовая: пески, галечники, ракушники с редким включением валунов и неясно слоистые ленточные глины Континентального (материкового) склона: глины, опоки, песчаники, известняки	Камней и галечников с характерной косой и линзовидной слоистостью в литеральной зоне и валунов, гальки, песков и ила
Субаэральная	Эоловый	Навеянная: пески и пески пылеватые, пыль — отложение сухих и пустынных областей с аккумулятивным рельефом Перевеянная: пески перевеянных рыхлых пород — элювия, аллювия, пролювия и других отложений Осадков пыльных бурь: лёсы и лёссовидные породы, отложенные в различных участках рельефа и, в частности, на склонах сводовых поверхностей гор Блуждающих песков: пески, перемещаемые ветрами различных направлений по поверхности земли	Дефляционные Фашии перевеянных песков подразделяются на материковые, морские, приозерные и приречные подфашии — —
Вулканическая	Лавотуфовый	Лав: массивы, потоки, пласты, покровы и поля основных и кислых пород — андезитов, алевиново-пироксеновых базальтов, базальтов, липоритов доцитов и др. Пеплово-шлаковая: шлаковые конусы, туфы, насыпные пеплы с лепилями и обломками пород, воздушные пеплы	— —

Подгруппа	Тип (факторы денудации и осадкообразования)	Фации (состав, форма залегания и положения в рельефе)	Подфации (внутри-фациальные особенности)
Органическая	Биогенный	Фитогенная: верховые и низовые сфагновые илы Зоогенная: гуановые накопления экскрементов птиц на стоянках зимовий и базарах и экскрементов летучих мышей в пещерах	— —
	Насыпной	Отсыпная: кавальеры, насыпи, крепостные валы, курганы, могильники Отсыпная уплотненная (укатанные, утрамбованные): земляные плотины, дамбы, перемычки	— —
	Намывной	Рефулированная: плотины, перемычки, дамбы, пруды Заполнения: карстовых полостей и каверн, провалов и трещин, болот и стариц	— —
Техногенная	Смещенный, в том числе смещенные почвы всех типов элювиальной группы или де-соилий	Плоскостного смыва: кавальеры почв, уложенные для последующей рекультивации земель, лишенных почвенного покрова вследствие распашки и смыва Погребенных русл: накопление мощных почвенных горизонтов в руслах рек и понижениях рельефа	— —
	Свалочный	Выбросов: продуктов жизнедеятельности человека Насыпок и заполнений: засыпка оврагов, карьеров, прудов, ям, болот, стариц, древних кладбищ и провалов	Отходы рыбного и зверобойного промыслов Выбросы бумажно-целлюлозной промышленности
	Преобразованный и специально уложенный	Искусственно упрочненных: сцементированные, гидронизированные, обизвествленные Искусственно разрыхленные: разработанные, увлажненные, подвергающиеся многократному замораживанию и размораживанию	— —

Подгруппа	Тип (факторы денудации и осадкообразования)	Фации (состав, форма залегания и положения в рельефе)	Подфации (внутри-фациальные особенности)
	Промышленных отходов	Химических осадков: растворы промышленных стоков, осаждение солей Нерастворимых осадков: вынос механических взвесей в результате обтачивающих и шлифующих работ в стекольной, камнеобрабатывающей и других видах промышленности	— —
	Отвалы, отсыпки и развалы	Строительных отходов и мусора: накопление отвалов бетонных пирамид и отсыпок глыбывато-щебенистого материала для перекрытия проранов в плотинах, а также отсыпок мусора и строительно-хозяйственных отходов Разрушенных зданий и сооружений: обломки развалившихся от возбужденного землетрясения стен, перекрытий, каменных и бетонных конструкций	— —
Техногенная (антропогенная)	Вскрышно-карьерный	Остаточных неотсортированных строительных материалов: глинистых и суглинистых, песчаных, гравийно-галечных и скальных пород, оставшихся на участках складирования и длительного хранения	—
		Остаточных отсортированных однородных строительных материалов: крупнообломочного камня, галечника, гравия, песка, суглинка, глины, оставшихся на местах складирования и длительного хранения	—
	Призобойных осыпей и выемок	Многопородных (смешанных): мелкообломочных глыбовых, щебенистых, дресвяных и глинистых отвалов подземных выработок Однородных: крупнообломочных глыб и блоков, откатанных из подземных выработок при разборке целиков горной породы	— —

Исходная горная порода

Группы метаморфических пород	Извест- няк	Мергель	Глини- стый сланец	Песчаник	Гранит	Кислые вул- канические породы	Основные и средние вулканиче- ские породы	Габбро, диорит	Ультра- основные породы
Контактовая Контактово-термаль- ная	Мрамор	Пироксе- ново-плагно- класовый роговик	Роговик	—	—	Роговик	Пироксе- ново-плагно- класовый роговик	—	—
	Скарн	Скарн	—	—	—	—	Скарн	—	—
	—	—	—	—	Грейзен	Вторич- ный кварцит	Пропилит	—	Серпенти- нит
	Скарн	Скарн	—	—	»	Грейзен	—	—	Талько- лиственник
Региональная Низкотемператур- ной ступени	—	—	—	—	Филлонит	Кварцево- серпичтовый сланец	Зелено- каменные породы	—	—
	Мрамор	Зеленый сланец	Слюдя- ной сла- нец	Кварцит	Слюдяной сланец, оч- ковый гнейс	Кварцево- слюдяной сланец	Зеленый сланец, аль- бито-эпидо- товый ам- фиболит	—	—
Среднетемператур- ной ступени	»	Амфибо- лит	Гнейс	»	Гнейс, гранулит	Гнейс, гранулит	Амфибо- лит, эклогит	Амфибо- лит, экло- гит	—
	—	—	Мигма- тит	—	Мигматит	Мигматит	—	—	—
Плутоническая или инъекционная									

Метаморфические породы часто сохраняют структуру первичных пород, так называемую реликтовую или унаследованную и, кроме того, приобретают и свою типичную метаморфическую структуру. Для метаморфических пород характерна и своя текстура — массивная, гнейсовидная, сланцевая. Массивная текстура — плотная, однородная кристаллическая масса; гнейсовидная — анизотропная, с ориентированными в каком-либо одном направлении минералами; сланцевая — характеризующаяся плитчатым сложением.

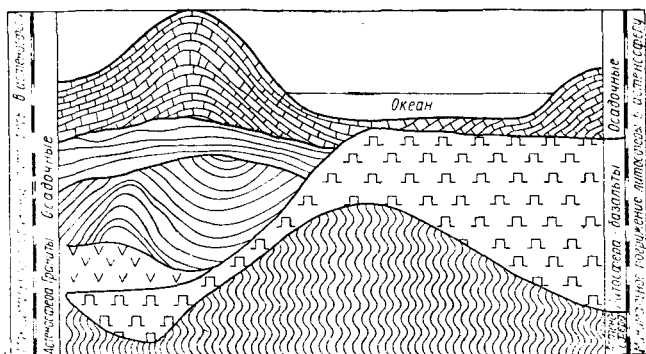


Рис. 1.1. Строение литосферы

К метаморфическим породам относят гнейсы, сланцы, мрамор, кварциты, скарны (см. табл. 1.4). Гнейсы образуются из магматических и осадочных пород. Первые называют ортогнейсами, вторые — парагнейсами. Сланцы также образуются из магматических и осадочных пород. К первым относят тальковые и хлоритовые сланцы, ко вторым — филлиты, слюдяные и кристаллические сланцы.

1.2. ГЕОСФЕРЫ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Земной шар состоит из ряда концентрических оболочек: атмосферы, гидросферы, литосферы (включая земную кору), биосферы (оболочки, занятой живым веществом), криосферы (прерывистой ледяной оболочки), астеносферы (вязкопластической высокотемпературной оболочки, в которой как бы втоплены корни литосферы), верхней мантии, нижней мантии, внешнего ядра, переходной оболочки и центрального ядра (рис. 1.1).

Для познания глубоких зон Земли применяют геофизические методы. Они заключаются в исследовании скорости распространения упругих волн. Различаются продольные, поперечные и поверхностные волны. Скорость распространения упругих волн зависит от упругих свойств горных пород и их плотности. Чем больше упругость и плотность среды, тем быстрее распространяются волны, а это как раз и служит способом определения физических свойств пород в каждой из указанных выше геосфер.

Скорость распространения упругих волн в земной коре на глубинах от 5 м до 80 км составляет 1...5,5 км/с. В нижних слоях земной коры в литосфере скорость увеличивается до 7 км/с. На глубине свыше 80 км отмечается заметный скачок, скорость достигает 8 км/с и, таким образом, между литосферой и астеносферой намечается раздел, свидетельствующий о переходе менее плотных пород литосферы в более плотные породы астеносферы. Раздел этот назван первым сейсмическим разделом Мохоровичича, по имени югославского геофизика Мохоровичича. Раздел Мохоровичича находится на глубине 50...70 км под континентами и на глубине от 4 до 13 км под дном океанов. Верхняя мантия до глубины 1200 км характеризуется скоростью упругих волн, равной 11...12,25 км/с. Это второй сейсмический раздел.

Таблица 1.5

Геосферы		Интервал глубины, км	Интервал плотности, т/м ³
Земная кора Мантия (барисфера):	A	0 ... 33	2,7 ... 3,0
	B	33 ... 400	3,33 ... 3,65
	C	400 ... 1000	3,65 ... 4,68
	D	1000 ... 2900	4,68 ... 5,69
	E	2900 ... 5000	9,30 ... 11,5
Ядро	F	5000 ... 6400	11,5 ... 12,3

Нижняя мантия на глубине 1200...2900 км, характеризуется скоростью упругих волн, равной 12,25...12,5 км/с, а местами 13,6 км/с. Это третий сейсмический раздел. Верхняя и нижняя мантии вместе называются барисферой.

На границах мантии и ядра, т. е. на глубине 2900 км скорость упругих волн падает до 8...8,1 км/с, а затем к центру ядра возрастает до 11...11,2 км/с и в глубине остается неизменной.

Соответственно средняя плотность Земли равняется 5,52 т/м³; плотность земной коры — 2,7...3,5; плотность литосферы — на глубине 70 км — 3,5, 12000 км — 4,75...6,8, 2900 км — 6,8...10,0, свыше 2900 км — 11...12 т/м³.

Плотность пород на глубине определяют также гравитационным методом, который основан на изучении распределения по поверхности Земли силы тяжести. Установлено, что во многих местах на поверхности Земли значение силы тяжести отклоняется от нормального. Эти отклонения называют аномалиями силы тяжести или гравитационными аномалиями. Аномалии отражают особенности геологического строения и неравномерное распределение масс в Земле и, в частности, в земной коре и литосфере. Положительные аномалии силы тяжести указывают на залегание в глубине более плотных масс, отрицательные — менее плотных. Изменения силы тяжести на разных участках поверхности Земли можно приводить

к значению силы тяжести на участке с иной высотой рельефа. Такое приведение называется редукцией Буге.

Данные о плотности земной коры и веществе Земли можно свести в табл. 1.5.

1.3. ГРАВИТАЦИОННАЯ И ТЕПЛОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМЛИ

На некоторой глубине в Земле находится пояс постоянных температур (в Москве, например, этот пояс находится на глубине 20 м от поверхности). Выше пояса зимняя температура отличается от летней, ниже — температура повышается независимо от температуры на поверхности Земли. Для характеристики повышения температуры в глубинных частях Земли пользуются двумя показателями: геотермической ступенью и геотермическим градиентом.

Геотермическая ступень (м/град) численно равна расстоянию, на которое нужно углубиться, чтобы температура возросла на 1°C . *Геотермический градиент* — величина обратная геотермической ступени, равная количеству градусов, на которое температура пород повышается с углублением на каждые 100 м. Например, если геотермическая ступень равна 20 м, то геотермический градиент равен 5°C , при ступени 40 м градиент равен $2,5^{\circ}\text{C}$ и т. д. Геотермическая ступень и градиент зависят от теплопроводности горных пород и характера химических реакций, происходящих в горных породах. Чем выше теплопроводность горных пород, тем больше геотермическая ступень и наоборот. При преобладании экзотермических реакций геотермическая ступень меньше.

Для определения геотермической ступени температуру измеряют в скважинах на разных глубинах. Результат получают путем деления разности глубин на разность температур. При таком способе определения числового значения ступени она относится к определенным интервалам глубин. В геологии употребляются названия подразделений геологического разреза Земли по признакам их химического состава. Так, преобладающими элементами в составе земной коры и литосферы являются кремний (Si) и алюминий (Al). Поэтому эти оболочки Земли называют *сиал* (SiAl). Верхняя и нижняя мантии содержат больше кремния и магния и поэтому названы *симой*. Ядро Земли содержит много железа, никеля и магния и получило название *нифе*. Если геометрическая ступень в пределах всей толщи сиалической оболочки равна ~ 33 м, то температура 100°C при нормальном атмосферном давлении будет на глубине 3300 м, а критическая температура воды 374°C — на глубине 12 342 м. Ниже 12 000 м вода в земной коре формироваться не может. Минерал кварц плавится при температуре 1700°C , полевые шпаты при 1500, а оливиновый диабаз при 1150°C . На глубине эти породы сохраняют твердое и твердопластическое состояние в связи с сопровождающим температуру высоким давлением.

Земля имеет внутренний и внешний источники теплоты. К первому относится внутренняя теплота Земли, образующаяся за счет

радиоактивного распада. Количество теплоты, выделяемое из ядра и мантии Земли, составляет 10^{28} Эрг в год. Все внутриземные эндогенные геологические процессы обусловлены действием этого источника теплоты. Распределение плотности теплового потока в Земле неравномерно. Максимальная плотность теплового потока наблюдается в зонах с минимальным значением геотермической ступени, а минимальная плотность — в зонах с максимальным значением геотермической ступени. Таким образом, геотермическая ступень объективно отражает интенсивность современных геологических процессов и, следовательно, плотность внутреннего теплоизлучения.

Внешняя теплота Земли связана с солнечным излучением. Солнечная теплота поступает на поверхность Земли в течение года в количестве $5,26 \cdot 10^{15}$ МДж. Одна треть этого количества рассеивается и теряется, $3,3 \cdot 10^{10}$ МДж перерабатывается Землей в другие формы энергии.

Излучение солнечной теплоты приводит в движение атмосферный воздух и находящиеся в нем водяные пары. Это происходит вследствие различия температур воздуха в экваториальной части Земли и у ее полюсов, различия температур над материками и океанами, а также различия физических условий теплопоглощения и теплоизлучения на поверхности тех и других.

Из сказанного следует, что в природе происходит постоянный круговорот воздуха и воды и что круговорот этот генерирует экзогенные процессы, к числу которых относят выветривание горных пород, их транспортировку и осаждение. Все эти процессы требуют затрат большой энергии, которая может рассматриваться в качестве потенциальной энергии осадочных пород. Элементами этой энергии являются: энергия частиц, образующихся при разрушении горных пород; энергия, требующаяся на образование минералов осадочного происхождения; энергия фотосинтеза, аккумулирующаяся в виде горючих горных пород.

В том случае, когда осадочные горные породы подвергаются метаморфизму, потенциальная энергия модифицируется в важнейший источник внутренней теплоты Земли.

1.4. МАГНЕТИЗМ

Намагниченная стрелка компаса обнаруживает наличие на Земле постоянного магнитного поля. Оно распространено вокруг Земли на огромных пространствах и достигает высоты 80...90 тыс. км. Предполагают, что причиной земного магнетизма является электрический ток в ядре Земли, возникающий в связи с вращением Земли вокруг своей оси. Магнитное поле Земли имеет свои геомагнитные полюса. На юге геомагнитный полюс находится на 68° ю. ш. и 143° в. д., на севере на 74° с. ш. и 100° в. д. Координаты геомагнитных полюсов не совпадают с координатами геометрических полюсов, поэтому и направления магнитной стрелки компаса не совпадают с геометрическим меридианом.

Угол между направлениями магнитной стрелки, расположенной в горизонтальной плоскости и вращающейся на своей оси, и географического меридиана называется *магнитным склонением*.

Линия, соединяющая на земной поверхности все пункты с нулевым склонением, называется *агонической*. По одну сторону ее находятся западные магнитные склонения, а по другую — восточные.

Линии, соединяющие точки с одинаковыми склонениями, называются *изогонами*. Указанная выше нулевая изогона представляет собой магнитный меридиан. Магнитные меридианы сходятся в точках южного и северного полюсов так же, как и географические меридианы, но отличаются от последних неправильностью линий — искривлением соответственно неравномерностям напряжений магнитного поля.

Различают северное и южное магнитные склонения. В точках магнитных полюсов магнитная стрелка занимает вертикальное (90° к горизонтальной плоскости) положение, а в северном и южном полушариях она соответственно наклонена то к северу, то к югу. Угол, образуемый в вертикальной плоскости между осью магнитной стрелки, поставленной на ребро, и горизонтальной плоскостью, равен величине магнитного наклона.

Линии, соединяющие точки Земли с одинаковыми значениями углов магнитного наклона, называются *изоклинами*. Нулевая изоклина представляет собой магнитный экватор. Диапазон изоклин вытянутых, как и географические параллели в широтном направлении, находится в пределах $0...90^\circ$.

Кроме изогон и изоклин магнитное поле характеризует еще один важный параметр — магнитную напряженность Земли. Магнитная напряженность — величина векторная — определяется не только числом, но и направлением.

Линии, соединяющие точки земной поверхности, имеющие равные магнитные напряжения, называются *изодинами*. Магнитные напряжения увеличиваются по направлению к магнитным полюсам. Наименьшая магнитная напряженность находится в экваториальной зоне Земли близ географического экватора. Изодинамы размещаются в широтном направлении.

Территории, на которых закономерность размещения изодинам нарушается, свидетельствуют о том, что на нормальное магнитное поле Земли здесь накладываются дополнительные магнитные поля: залежи железных руд, обладающих сильной намагниченностью, или зоны крупных тектонических нарушений, заполненных богатыми железом лавами. В таких случаях говорят о магнитных аномалиях, например, Курской или открытой в последнее время в Белгородской области, где неглубоко залегают железистые кварциты протерозоя, представляющие собой крупные запасы железных руд высокого качества.

Магнитная напряженность Земли изменяется несколько раз в сутки. Перед землетрясением она проявляется в виде магнитных бурь. Изменения магнитной напряженности отмечаются также в

11-летние периоды, что, возможно, связано с появлением максимумов пятен на Солнце. Отмечается также существование какой-то зависимости между изменениями магнитной напряженности и полярными сияниями.

Изучение земного магнетизма имеет огромное значение для геологии, поскольку магнетизмом обуславливается анизотропия ферромагнитных минералов в горных породах, т. е. их определенная ориентировка, сохраняющаяся в течение миллиардов лет. Небезынтересно и то обстоятельство, что на Луне магнитное поле отсутствует.

Глава 2

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЗЕМЛИ, ИСТОРИЯ ЕЕ РАЗВИТИЯ. ФАЦИИ И ФОРМАЦИИ В ПРОЦЕССАХ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ

2.1. ГИПОТЕЗА ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЗЕМЛИ

Вопрос о происхождении планет был рассмотрен академиком О. Ю. Шмидтом в 1944 г. В последующие годы положения, высказанные Шмидтом, развивались и совершенствовались и приобрели характер стройной теории, основанной на математическом анализе закономерностей солнечной системы. К числу таких закономерностей относится круговой характер планетных орбит, указывающий на столкновение большого числа частиц, двигавшихся огромным роем. Эти частицы сначала обращались по эллиптическим орбитам с длинными осями, расположенными в различных направлениях. Но вследствие столкновения, обмена скоростями и сосредоточения в крупные скопления орбиты движения частиц приобретали симметричные и почти круговые очертания. Следовательно, до образования Солнца как планеты оно было окружено роем пылеватых частиц, двигавшихся вокруг роя по эллиптическим орбитам.

Для роя было характерно разнонаправленное движение частиц, что объяснялось О. Ю. Шмидтом значительным моментом количества движения. Более крупные тела в рое в результате конденсации холодных преимущественно твердых, частиц становились зародышами будущих планет. Спутники, по теории О. Ю. Шмидта, образовались в результате общего сгущения роя, так же как возникали сами планеты из газопылевого облака, окружавшего Солнце. Происхождение пыли, захваченной Солнцем, теория О. Ю. Шмидта объясняет тем, что в Галактике такие облака пыли не являются чем-то необычным и что Солнце при своем движении могло захватить такое облако. Такого рода захватом математически объясняется распределение момента количества движения в солнечной системе. Именно это не могли объяснить существовавшие до О. Ю. Шмидта космогонические гипотезы.

Академик В. Г. Фесенко и многие другие ученые считают, что газопылевое облако окружало Солнце уже в то время, когда оно еще не отличалось от вещества самого облака.

О. Ю. Шмидт считал, что с тех пор как газопылеватые частицы начали собираться в плотную массу, образовавшую Землю, прошло 6...7 млрд. лет. Если взять такие радиоактивные элементы в земной коре, как уран и радий, которые, распадаясь, превращаются в свинец и гелий, то, исходя из того, что скорость распада каждого из названных элементов строго постоянна, можно вычислить возраст горных пород по содержанию в них свинцовой руды.

Определение возраста земной коры радиоактивным методом показало, что возраст уранинита из сев. Карелии равен 1850 млн. лет (К. А. Ненадкевич, 1926), возраст пегматитовых пород Карелии также равен 1850 млн. лет (В. Г. Холопин и М. А. Владимирова, 1926). Возраст земной коры, по мнению многих ученых, составляет 2...4 млрд. лет, что совпадает с предполагаемым О. Ю. Шмидтом астрофизическим возрастом нашей планеты.

Земля никогда не находилась в огненно-жидком состоянии, как это предполагалось раньше. Она образовалась из холодных твердых частиц различного химического состава, беспорядочно соединенных. В дальнейшем в составе Земли произошли существенные изменения, вызванные гравитационной дифференциацией ее вещества, выраженной в поднятии более легких составляющих и опускании более тяжелых. Образованию гранитной и базальтовой оболочек земной коры способствовал разогрев расчленяющейся массы в результате радиоактивного распада находящихся в ней элементов.

Процесс разогрева, по мнению О. Ю. Шмидта, продолжается внутри Земли и до сих пор, но уже достигает своего максимума, после чего следует ожидать охлаждение Земли в связи с истощением запасов радиоактивного вещества в ее недрах.

Геологическая история Земли, или, точнее, земной коры, начинается с периода образования первых зачаточных материков и продолжается до наших дней. В течение этого времени земная кора пережила сложную эволюцию. Эволюцию земной коры, которую мы можем проследить, изучая слагающие земную кору горные породы, ее структурные особенности и захороненные в ней остатки животного и растительного мира, можно проследить по данным, приведенным в табл. 2.1. Указанные в табл. 2.1 эры Земли состоят из нескольких периодов, характеризующихся определенными формами животного и растительного мира.

Историей развития и изменением существовавших ранее на Земле форм животных и растений занимается *палеонтология*. Каждому периоду развития Земли соответствует свой состав горных пород — определенная система пород.

Изучением последовательности залегания пород и их возрастом занимается *стратиграфическая геология*, закономерности развития горных пород в процессе формирования земной коры, отражаемые в их вещественном составе, изучаются *литологией*.

В настоящее время большое значение в изучении процессов развития земной коры приобрело изучение закономерных литологических сочетаний (ассоциаций) горных пород. Данные о парагенетических связях пород легли в основу учения о формациях, или парагенетических комплексах горных пород, приуроченных к определенным структурным элементам земной коры.

Таблица 2.1

Эра (группа)	Периоды (системы) и их индексы	Типичные организмы
Кайнозойская <i>KZ</i>	Четвертичный <i>Q</i> : гобцен плейстоцен плюоцен Неогеновый <i>N</i> : миоцен олигоцен Палеогеновый <i>p</i> эоцен палеоцен	Современный человек Человек каменного века Млекопитающие, цветковые растения
Мезозойская <i>MZ</i>	Меловой <i>K</i> Юрский <i>I</i> Триасовый <i>T</i>	Головоногие моллюски и пресмыкающиеся
Палезойская <i>PZ</i>	Пермский <i>P</i> Каменноугольный <i>C</i> Девонский <i>D</i> Силурийский <i>S</i> Ордовикский <i>O</i> Кембрийский <i>Є</i>	Амфибии и споровые Рыбы, плеченогие Первичные многочисленные ископаемые беспозвоночных
Протерозойская <i>PR</i>	—	Редкие остатки примитивных форм
Архейская <i>AR</i> Возникновение Земли-планеты	—	—

2.2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ЗЕМЛИ

Изучение геологической истории ранних докембрийских и доархейских этапов развития земной коры затруднено в связи с глубоким залеганием толщ пород, относящихся к этому времени. Все данные, которыми мы располагаем, подтверждают существование древних архейских и эпиархейских ядер в центральных областях допалеозойских платформ. *Платформами* называют устойчивые малоподвижные участки земной коры. Архейские и нижнепротерозойские платформы составляют ядра материковых массивов. Они состоят из сильно метаморфизованных гранитных интрузий. Эпиархейские ядра не только обрамляются протерозойскими образованиями, но и несогласно перекрываются ими. Так, складчатые архейские структуры центральной части Канадского щита перекрываются протерозойскими складчатыми структурами, имеющими резко несовпадающие с архейскими простирания. В Восточной Сибири архейские складчатые структуры Алданского щита простираются в направле-

нии, близком к меридиальному, а перекрывающие их протерозойские складчатые структуры Станового хребта — близком к широтному.

Из указанного очевидно, что площади, занимаемые архейскими ядрами, меньше площадей эпиархейских платформ, а эти последние меньше площадей допалеозойских и т. д. Таким образом за последние 2 млрд. лет в геологической истории земной коры происходило закономерное прогрессивное разрастание платформенных ядер. Можно поэтому рассматривать древнеархейские ядра как ядра консолидации, вокруг которых складывались площади будущих все разрастающихся платформ. В геологической истории материков можно выделить следующие этапы:

катархейский — за 3500...2700 млн. лет до наших дней, когда еще не было признаков платформ, за исключением океанических; породы катархея представлены метаморфизированными основными лавами;

архейский — за 2700...1700 млн. лет до нашего времени, когда впервые появились ядра консолидации платформ, разделенные подвижными зонами Земли — геосинклиналями; только в самом конце архея платформы приобрели довольно большие размеры;

протерозойский — за 1700...1350 млн. лет до нашего времени, когда сформировавшиеся до этого древние платформы распались, а были сформированы другие платформы, существующие до настоящего времени и также разделенные геосинклиналями;

позднепротерозойский — за 1350...600 млн. лет до наших дней, когда сложились основные структурные формы Земли, которые в дальнейшем изменялись в связи с увеличением площадей платформ за счет площадей геосинклиналей. Раньше всего в это время структурно оформились платформы Северного полушария и Австралийская, а Индостанская, Южно-Американская, Африканская и Антарктическая платформы оформились лишь к концу позднепротерозойского периода. В это время уже точно определились и подвижные геосинклинальные зоны вокруг Атлантического, Тихого и Индийского океанов, а также в пределах Средиземноморского — Урало-Охотенского океанического бассейна или так называемого Тетиса;

последокембрийский — за 600 млн. лет до наших дней, когда сокращалась ширина подвижных зон, образовывались передовые прогибы, активизировалось образование платформ, обуславливавшее создание орогенных эиплатформенных поясов, приуроченных, в частности, к площади платформ, ограниченных древними глубинными разломами.

2.3. ПЕРИОДИЧНОСТЬ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ И ФОРМИРОВАНИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

Наиболее полные сведения о процессах формирования земной коры известны по данным изучения последокембрийских циклов, откуда видно, что развитие земной коры происходило циклически. Наибо-

лее крупные циклы, охватывающие огромные периоды времени (около 550 млн. лет), называются *мегациклами*; менее крупные продолжительностью 150...200 млн. лет — *циклами первого порядка*, а продолжительностью 35...40 млн. лет — *циклами второго порядка*. Кроме того, можно выделить циклы в 10...15, 4...6 и 0,3...0,5 млн. лет, а также циклы в 0,14; 0,04 и 0,09 млн. лет и еще меньшей продолжительности.

Все циклы низшего порядка надо рассматривать лишь как фазы циклов высшего порядка. Если сопоставить названные циклы с их стратиграфическими эквивалентами (см. табл. 2.1), то мегациклам будут соответствовать такие стратиграфические комплексы, как палеозой, мезозой и кайнозой, вместе взятые; циклам первого порядка — группы (эры); циклам второго порядка — системы и циклам низшего порядка — отделы, ярусы, зоны, пласты, слои.

Однако циклы развития, или геотектонические циклы, могут не совпадать со стратиграфическими границами. Так, например, каледонский цикл начинается в начале кембрия, охватывает силурийские и нижнедевонские отложения и заканчивается в начале среднего девона; герцинский цикл начинается в среднем девоне, продолжается в течение верхнего девона, карбона и перми, заканчиваясь в пермское время; альпийский цикл начинается в триасе и продолжается в четвертичное время.

Каждый из названных циклов представляет собой законченный геотектонический этап в общем поступательном развитии земной коры. Это значит, что в каждом цикле завершается процесс колебательного движения земной коры, выраженного в ее опускании и поднятии от и до какого-то условного уровня. При этом колебания низших циклов происходят на фоне общих колебательных движений (опусканий и поднятий) высших циклов. По литологическим признакам каждого цикла отмечают смену осадочных пород и периодичность процесса осадкообразования, которые зависят от колебательных движений и в пределах одного геотектонического цикла связаны с определенными стадиями его развития.

2.4. ФАЦИИ И ФОРМАЦИИ

Поверхность Земли может быть расчленена на области размыва и области отложений. Пограничная зона этих областей проходит либо вдоль берега моря, либо в пределах моря, если существует подводный размыв, или суши, где могут создаваться условия для накопления или отложения осадков. Наблюдениями установлено, что на границе размыва и накопления откладывается крупный обломочный материал, который переходит во все более и более мелкий и, наконец, в мелко- и тонкозернистый. Пренебрегая незначительными отклонениями от общей схемы распределения осадочного материала (обусловленными физико-географическими и биологическими факторами), можно считать, что вслед за отложениями конгломератов (галечника) откладываются пески, глины и затем извест-

няки. Такую смену отложений можно наблюдать на площадях континентов и дна морей, измеряемых сотнями километров.

На суше осадочный материал переносится и сортируется потоком воды: по мере убывания силы потока его транспортирующая способность уменьшается и тяжелые частицы, которые он уже не может переносить, выпадают в осадок.

В морских бассейнах при движении в направлении, перпендикулярном суше, волны в зависимости от их силы прибивают к берегу материал соответствующей крупности, а при медленном откатывании влекут за собой в море мелкий материал. Другими словами, на море, как и на суше, причиной распределения материала является движение воды и скорость этого движения.

Для морских осадков ширина зоны накопления может определяться отношением скорости поднятия области размыва (скорости приноса материала) к скорости прогибания области накопления. При уменьшении скорости поднятия области размыва количество обломочного материала уменьшается и, следовательно, уменьшается ширина зоны накопления. То же самое происходит при увеличении скорости прогибания области накопления, если скорость поднятия области размыва остается неизменной.

Более обширные зоны накопления создаются при увеличении скорости поднятия области размыва, влекущем за собой увеличение количества обломочного материала и уменьшение скорости прогибания области накопления. В связи с этим процессы размыва и накопления необходимо рассматривать как процессы, обусловленные движением земной коры, причем положительным (поднятие)—в области размыва и отрицательным (опускание)—в области накопления. Нельзя представить себе размыв или накопление как результат простого расчленения поверхности Земли на горные и равнинные области. Поэтому и условия формирования речных долин главных транспортирующих артерий на континенте тесно связаны с характером рельефа Земли. Высокий и низкий рельеф всегда определяет интенсивность процессов размыва, аккумуляции и распределения процессов осадков.

Для образования устойчивых отложений необходим длительный физический и физико-химический процесс их формирования, а именно: перемывание, фракционное смещение, коагуляция и размещение осадков в распределяющей среде.

В областях с медленными тектоническими движениями наблюдается небольшое накопление осадков и незначительное различие в их составе, а границы между ними не столь резко выражены. В областях, где движения отличаются большими скоростями, т. е. в зонах больших погружений земной коры и больших мощностей, состав осадков резко различен и границы между ними более отчетливы. На распределение зон накопления обломочного материала помимо названных факторов влияет также постоянное перемещение береговой линии. При неизменном отношении скоростей прогибания и поднятия смещение береговой линии обуславливает своеобразное чередование осадков. Так, если у берега отлагаются

галечники, дальше пески, глины и, наконец, известняки, то при погружении в области размыва береговая линия может смещаться из точки 1 в точку 2 и при сохранении ширины зон размещения названные осадки будут смещаться вслед за береговой линией моря (рис. 2.1). В связи с этим, где раньше отлагались галечники, будут отлагаться пески, там, где отлагались пески, будут отлагаться глины и там, где отлагались глины, будут отлагаться известняки. Продолжающееся смещение береговой линии будет способствовать такому же последовательному наложению одних зон осадков на другие.

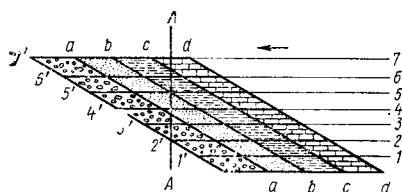


Рис. 2.1. Трансгрессивная миграция фаций:

1—7 — уровни моря, 1'—7' — погружение в области размыва, а, b, c, d — литологические границы

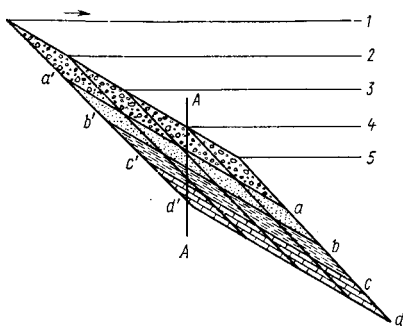


Рис. 2.2. Регрессивная миграция фаций

В геологическом разрезе А — А для данного случая фиксируются снизу вверх галечники, пески, глины, известняки. Эта последовательность отложений свидетельствует о трансгрессивной серии осадконакопления. Таким образом, в направлении перемещения береговой линии моря будут откладываться осадки все более и более молодые, хотя состав их при этом будет оставаться неизменным. Их границы будут лежать между галечниками, песками, глинами и известняками (а—а, b—b, c—c, d—d) и не будут совпадать со стратиграфическими границами (1—1, 2—2, 3—3, 4—4 и т. д.).

Схема распределения осадка при отступлении береговой линии моря показана на рис. 2.2. В этой схеме отражена регрессивная серия отложений. В геологическом разрезе А—А для этого случая фиксируются снизу вверх известняки, глины, пески, галечники. Из изложенного видно, что литологический состав и мощность осадочных толщ изменяются по простиранию.

Фа́ция — это горная порода, занимающая определенное место в геологическом разрезе, находящаяся в парагенетических связях с другими частями этого разреза, в совокупности с ними отражающая палеогеографические и тектонические условия ее образования и отличающаяся на всем протяжении одинаковыми литологическими составом, флорой и фауной.

В нижнем и среднем кембрии, т. е. в первой половине каледонского цикла, развиты континентальные осадки; подобные осадки (в Донбассе, на Урале и др.) наблюдаются в нижнем и среднем девоне, т. е. в первой половине герцинского цикла, а также в триасе, т. е. в начале альпийского цикла. Для всех континентальных отложений первой половины или первой четверти названных циклов характерно однообразие в составе пород, богатство пород органическим материалом (битуминозные сланцы, угли) и широтом. В литологии этих осадочных толщ можно отметить признаки явного сероводородного заражения морского бассейна. В. В. Белоусов назвал эти отложения нижней терригенной формацией. У других авторов (Б. М. Келлер и В. Е. Ханн) эта же формация называется аспидной, так как содержит аспидные сланцы, а также формацией терригенных морских сероцветных отложений (А. В. Пейве).

В конце первой половины каледонского цикла, т. е. в верхнем кембрии и нижнем силуре, отмечается комплекс известняковых пород; в герцинском цикле известняковые породы также приурочены к концу первой половины цикла, т. е. верхнему девону и началу карбона, а в альпийском цикле — к верхнему мелу, т. е. также к концу первой половины этого цикла. В. В. Белоусов назвал эти отложения известняковой формацией (рис. 2.3).

Отложения второй половины каждого из названных циклов напоминают собой отложения, образовавшиеся в первой половине цикла. Здесь широко развиты терригенный флиш, ритмические наслоения песчано-глинистых отложений (иногда с прослоями мергелей и обломочных известняков), а также глинисто-песчаные толщи с большим содержанием органического материала в виде углей и битуминозных сланцев.

В каледонском цикле эти отложения приурочены к силуру, в герцинском — к средне- и верхнекаменноугольным и пермским отложениям, в альпийском — к эоцену и олигоцену и более поздним отложениям. В. В. Белоусов назвал эти отложения верхней терригенной формацией. Им выделены также отложения лагунной* формации, в составе которых присутствуют отложения химического происхождения — каменные и калийные соли, гипс, ангидрит, доломит и другие, отвечающие в каледонском цикле силурийским отложениям, в герцинском — пермским и в альпийском — третичным.

В заключительной стадии циклов В. В. Белоусов относит мо-

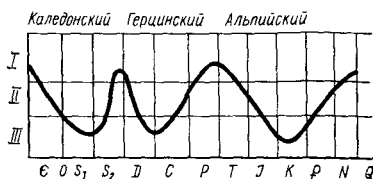


Рис. 2.3. Схема формаций во времени:

I — отложения континентальные; II — то же, терригенные; III — известняки морские

* Лагуна — мелководное замкнутое пространство в береговой зоне, отчлененное от моря.

лаговую * формацию, состоящую преимущественно из глинистых и песчаниковых отложений, а также грубых песков и конгломератов. В каледонском цикле молассовые отложения относятся к верхнему силуру и нижнему девону, в герцинском — к концу пермской системы и в альпийском — к неогену.

Связь осадков с отдельными стадиями циклов и отмеченная выше периодичность осадконакопления заключается в том, что в первой половине цикла в областях геосинклиналий и платформ только начинается опускание и в комплексе осадочных толщ формируются континентальные и терригенные морские отложения; с течением времени эти последние получают все большее развитие, пока на смену им не приходят в середине цикла известняковые отложения. В это время области опускания достигают своего максимума и глубина морских бассейнов становится наибольшей.

В начале второй половины цикла вследствие инверсии (обращения) геотектонического режима на смену глубоководным известняковым отложениям вновь приходят отложения морские терригенные, заканчивающиеся континентальными. Условия накопления послеинверсионных терригенных отложений идентичны условиям осадконакопления в доинверсионную фазу начала цикла. Следовательно, под отдельными стадиями цикла следует понимать какие-то периоды поднятия или опускания, соответствующие определенным гипсометрическим уровням. Периодичность или стадийность колебательных движений собственно и представляет собой механизм осадконакопления. Отдельные формации осадочных толщ отражают, таким образом, последовательность в смене стадий колебательных движений.

Формации, как об этом говорили Н. С. Шатский, Н. П. Херасков, Б. М. Келлер, Н. А. Штрейс, В. Е. Хаин и другие ученые, определяются именно составом входящих в них пород и строением, т. е. особенностями парагенетических сочетаний пород. Эти парагенетические сочетания, или связи пород, по которым мы различаем формации, были бы нам совершенно непонятны, если бы мы не рассматривали их дифференцированно, вплоть до элементарных тел, причем в генетическом аспекте. Это не значит, что при выделении формаций надо пользоваться генетическим палеографическим методом, отводя структурно-вещественному направлению исследования второстепенное место. Наоборот, выделяя формации в качестве крупных парагенезов пород, основное внимание в формационном анализе должно быть сосредоточено именно на этом структурно-вещественном аспекте исследования; однако в качестве важного вспомогательного средства для определения объема и границ отдельных формаций, восстановления истории их формирования и закономерностей парагенетических соотношений входящих в них пород должны привлекаться методы историко-геологического и генетического исследования. В качестве пояснений можно при-

* Молассы — толщи обломочных пород, отложенных в предгорьях при размыве и сносе поднимающихся гор.

вести следующие доводы. Сходные парагенезы пород могут встречаться, как известно, в разных местах и относиться к разному времени. Значит, существуют какие-то закономерности в образовании определенных парагенезов, и, следовательно, процессы, происходящие при образовании осадочной оболочки земной коры, подчинены каким-то законам, таким же, какие управляют процессами, обуславливающими парагенезы минералов. Но сочетания (ассоциации) минералов в куске породы мы можем определять минералогическим и химическим анализом, микроскопией и в ряде случаев визуально, а сочетание пород в осадочной оболочке — только визуально, так как способы минералогического, химического и микроскопического исследований здесь не масштабны и могут играть лишь вспомогательную роль. Каким же образом могут быть познаны закономерности парагенетических сообществ? Они, естественно, могут быть раскрыты геологическими методами, т. е. посредством изучения членов этого сообщества, их отношений и связей в процессе геологического развития. Нельзя устанавливать парагенетические связи, не зная, что между собой связано и что представляют собой отдельные элементы этой связи. Если такими элементами являются горные породы, то, очевидно, надо знать, какие это породы и почему именно они входят в состав парагенетического сообщества. В этом и должен заключаться формационный анализ, выполняемый геологическими методами. Но формационный анализ как геологический метод не может не затрагивать генетического истолкования процессов формирования пород и, следовательно, не рассматривать номенклатуры генетических тел разного порядка.

Известно, что последовательно расположенные слои образуют сложный слой, или «горизонт», сочетание горизонтов образует «пачку», из пачек слагается свита, свиты входят в состав отложений высшего ранга — «серии».

В. Е. Хаиным была разработана классификация ритмичности различных порядков. Ритмы тектонического происхождения в этой классификации представлены микроритмом (низший ритм этой категории), мощностью, измеряемой десятками сантиметров, и продолжительностью отложения 500...1000 лет, затем макроритмом, мощностью в десятки метров и продолжительностью отложения в десятки тысяч лет. Далее в классификации В. Е. Хаиным выделены цикл, мезоцикл, макроцикл и мегацикл, соответственно отвечающие по объему зоне, ярусу, системе и группе стратиграфической шкалы.

Установление характера ритмичности в слоях в вертикальном разрезе позволяет восстанавливать историю тектонических движений, условия и факторы осадконакопления и, следовательно, находить теоретические предпосылки возникновения парагенетических связей между породами, представляющими геологический разрез.

В классификации ритмичности В. Е. Хаина циклы и ритмы отличаются только рангом. Л. Н. Ботвинкина считает, что правильнее было бы различать ритмы и циклы по существу. Она указывает,

что ритм является элементарной стратиграфической единицей, возникающей в результате периодичности осадконакопления низшего порядка, цикл же представляет собой комплекс отложений, связанных определенной направленностью изменения. Циклы повторяются в разрезе, но неоднотипно, а лишь более или менее сходно, отражая эволюцию развития данного района*.

В качестве методической основы для формационного анализа классификация циклов (ритмичности) должна отражать отдельные этапы геологического развития: ритмичность (макроритмы и микро-ритмы), составляющая внутреннее содержание циклов, естественно, сохраняет свое значение в циклах всех рангов.

Таксономия формаций и таксономия циклов должны соответствовать друг другу. Мегаформация (или ряды формаций) отвечает и по времени формирования и по объему отложений, представленному несколькими циклами,—мегациклу; формация — макроциклу; субформация — мезоциклу; макрофашиа — циклу первого порядка; фашиа — циклу низшего порядка.

Связывая таксономические подразделения с цикличностью геологического развития, мы тем самым сообщаем вещественной характеристике формаций и ее структурную характеристику. Низшие единицы названных подразделений — фашии, отвечающие циклам низшего порядка, в структурном отношении будут представлять собой простой слой; макрофашии, отвечающие циклам первого порядка,—многослойность, часто выраженную микро- или макро-ритмами; субформации, отвечающие мезоциклам,—переслаивание, повторяемость пород, другими словами, неоднократную смену микро- и макроритмов, отражающую периодичность осадконакопления; формации, отвечающие макроциклам,—еще более многообразный комплекс пород, а мегаформации, отвечающие мегациклу,—ряды формаций, т. е. еще более многообразное сообщество пород и структур, представляющее крупные сегменты осадочной оболочки Земли.

Разумеется, что образование всех перечисленных структур подчинено тектоническому режиму, и, следовательно, характер структур связан с фактором времени. Большая толща переслаивающихся пород может формироваться сотни тысяч и даже миллионы лет, в течение которых могут быть завершены определенные этапы складко- и горообразования, и те и другие могут резко изменить структурные формы первичной слоистости. Ритмичность осадочных толщ — это относительная шкала времени. Она указывает на постепенность отложения осадка, формирование слоя и ритмов и, следовательно, механизм тектонических движений. Структуры, например, флишевой или молассовой формации связаны с определенными геосинклинальными зонами — с узкими и длинными прогибами, ограниченными глубокими разломами, а также с передовыми прогибами. Очевидно, что прогибы эти формировались при

* См.: Ботвинкина Л. Н. Методическое руководство по изучению слоистости. М., 1965, с. 15.

определенном тектоническом режиме длительное время, именно все то время, в течение которого накапливалась толща формации. Когда закончился этот крупный цикл формирования осадочной толщи, ее вещественный состав и строение запечатлели на себе геологическую историю развития этой толщи, генезис пород и механизм их парагенетических соотношений.

Итак, в формационном анализе прежде всего должна быть выявлена таксономическая подчиненность частей формации. Далее, части эти (их вещественный состав) должны быть связаны с цикличностью формирования пород, позволяющей установить их строение (структуру) в разрезе и причины, характеризующие их парагенетические связи. Должна быть, кроме того, установлена связь формаций, как крупных парагенезов пород, с зональными структурами геосинклинальных, орогенных и платформенных областей Земли. На основании всех этих этапов анализа в крупных сегментах осадочной оболочки (мегаформациях) можно наметить границы отдельных формаций и определить, таким образом, их место в вертикальном и латеральном направлениях. Те же методы анализа позволят выделить низшие таксономические подразделения формаций, когда полевые исследования будут проводиться на небольших площадях в пределах одной-двух формаций.

В поступательном развитии земной коры горные породы подвергались изменениям, поэтому одноименные геологические формации, например, в палеозое и кайнозое вещественно специфичны, а типы формаций в связи с этим характеризуются определенными чертами обособленности. Поэтому в основу учения о формациях положен метод структурно-вещественного (тектонического) анализа. Вместе с тем вещественные признаки, по которым выделяются формации, не могут быть установлены без привлечения данных об их генезисе. Не следует соединять воедино тектонический (структурно-вещественный) и палеогеографический принципы изучения геологических объектов, но отказаться от палеогеографического метода, как вспомогательного средства при формационном анализе, нецелесообразно. Для выделения формаций эти дополнительные возможности, представляемые палеогеографическим методом, действительно не столь необходимы, но при разделении формаций на более мелкие таксономические единицы они не могут быть не использованы, так как в этом случае нельзя было бы говорить и о закономерности связей между отдельными частями формаций. Мы должны были бы при этом исключить фактор постоянства тектонических движений в качестве механизма процессов осадконакопления.

Мы говорили уже выше, что формации не возникают сразу, а являются результатом длительного образования фаций. Значит формация раскрывается через фацию. Формации не могут быть монопородными, или, другими словами, монофациальными. Они всегда полифациальны.

Нам представляется, что в трудах наших ученых, в частности Н. М. Страхова, открываются широкие возможности исследования

парагенезов пород, т. е. именно тех явлений, которые и послужили в свое время поводом для выделения формаций. Как бы ни рассматривались в настоящее время исходные положения формационного учения, несомненно одно — его прогрессивное значение. Пусть одни ученые отрицают цикличность геотектонических процессов и полагают, что формации должны выделяться только по вещественному составу и парагенезам пород; другие считают неправильным выделение формаций по ряду признаков, отводя главную роль тектоническому признаку — важно то, что формационное учение — это учение о парагенезах пород и закономерностях их размещения.

Н. М. Страхов положение формационного учения сводит в форму следующего закона: местоположение любой породы, входящей в состав формации, а также соотношение ее с соседними по вертикали и горизонтали породами определяется типом породы*. По-видимому, использование формационного метода в инженерной геологии и в инженерно-геологическом картировании обязывает нас ответить не только на вопрос о том, что такое тип формации и фациальный тип породы, но и какое значение вкладывается геологией в содержание этих понятий. Наша точка зрения сводится к тому, что эти понятия являются именно тем, что составляет и раскрывает сущность парагенезов пород. Следовательно, это еще раз подтверждает нашу мысль о необходимости разработки классификации парагенезов, которая будет являться систематизацией вещественных и структурных характеристик определенных естественных историко-генетических сочетаний пород. Без такой классификации неизбежны будут и постоянные кривотолки о том, как определить формации и как выделить их, в каких объемах парагенетических сообществ принимать, и т. д., т. е. всегда будут возникать неясности в изучении цикличности геотектонических процессов, их стадийности, геолого-исторических, генетических и других формациеобразующих факторов.

Глава 3

ГЛУБИННЫЕ СТРУКТУРЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ

3.1. СТРУКТУРНЫЕ ФОРМЫ ГОРНЫХ ПОРОД

Главнейшие формы залегания горных пород представлены первичными, вторичными, массивными и другими структурами. Среди них различаются дизъюнктивные (разрывные) и пликативные (сплошные) формы, а также формы согласные и несогласные.

Первичные структуры относятся ко времени образования слагающих их пород и связаны с условиями их образования. Различают осадочные и магматические структурные формы, условия

* См. Страхов Н. М. Типы осадочного процесса и формации осадочных пород. — Известия АН СССР. Серия геологическая, 1956, № 5 и 6.

происхождения которых также различны. Первичные структурные формы массивов метаморфических пород будут отвечать характеру форм пород, из которых они образовались, т. е. осадочных или магматических.

Вторичные формы относятся к деформированным породам, т. е. к структурам, сформировавшимся уже после образования пород и поэтому не связанным с условиями их происхождения.

Вторичные структурные формы массивов горных пород возникают под влиянием тектонических процессов и процессов внешней динамики Земли, т. е. процессов, обусловленных солнечной энергией и силой тяжести. Тектонические процессы вызывают сжатие, растяжение и сдвиг в слоях земной коры, в результате чего в породах образуются трещины, разрывы и складки.

Структурные формы, образовавшиеся под влиянием процессов внешней динамики (выветривания, действия силы тяжести, работы ледников, подземных и поверхностных вод и пр.), могут быть представлены породами: расчлененными трещинами выветривания; оползневыми; смятыми в складки давлением ледников; разуплотнившимися вследствие естественной разгрузки в днищах и бортах горных долин; разбитыми трещинами бортового отпора и смещенными по плоскостям разрывов. Трещины (разрывы) в горных породах образуют системы, состоящие из нескольких параллельных определенно ориентированных рядов. От пересечения трещин разных систем в массивах горных пород возникают блоки или отдельные. Осадочные породы характеризуются прямоугольными, кубическими, ромбическими и плитчатыми блоками; магматические — шаровыми, глыбовыми и матрацевидными блоками; метаморфические — плитчатыми, пластинчатыми, ребристыми и остроугольными. Лавовые — призматическими столбчатыми отдельностями и шаровыми блоками.

Элементарной структурной формой слоистых осадочных пород, эффузивных и метаморфических залежей, а также пластовых интрузий является слой. Мощность слоя может быть меньше миллиметра и достигать многих метров. Причиной слоистости в осадочных породах является изменение состава и размеров частиц, выпадающих в осадок. Различные слои могут быть близки по составу и в этом случае толща пород может быть относительно однородной, например толща глинистых пород. Однако и в каждом отдельном слое все же можно обнаружить свойственные ему отличия от смежных покрывающих или подстилающих слоев.

Всегда можно наблюдать также некоторые различия в структуре одного слоя, если его внимательно рассматривать в направлении от подошвы к кровле. Такие изменения зависят от литологического состава слоя, например в слое глины или песчаника. Состав частиц ближе к подошве слоя обычно более грубый, а ближе к кровле более тонкий и однородный. В слоях известняка, близ подошвы слоя, не содержится известковых примесей, а ближе к кровле всегда обнаруживается примесь глинистого материала.

При различном составе слоев слоистость толщи пород резко выражена, например при перемежаемости слоев известняка, глины и песчаника. При этом надо иметь в виду, что слоистость пород определяется не только различием их вещественного состава, но и наличием границ раздела. Часто границы слоев весьма постепенны, для глаза совершенно незаметны и обнаруживаются лишь при раскалывании породы. Слои залегают горизонтально, наклонно, вертикально. Залегают слои и в положении перевернутом. Нарушения слоев часто выражены изгибами. При наличии двух изгибов слой образует уступ (флексуру).

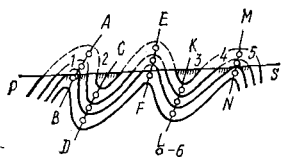


Рис. 3.1. Элементы строения складок:

1—5 — ядра складок на уровне P; 6 — шарниры горизонтов; AB, CD, EF, KL, MN — проекции осевых поверхностей складок

Тектонические нарушения, в результате которых слои горных пород изменили первоначальную форму залегания, могут быть пластическими и разрывными. Соответственно характеру этих нарушений

могут создаваться разнообразные геометрические формы массивов горных пород.

Структуры, образовавшиеся в результате пластических деформаций, в которых слои смяты в складки, представлены самыми раз-

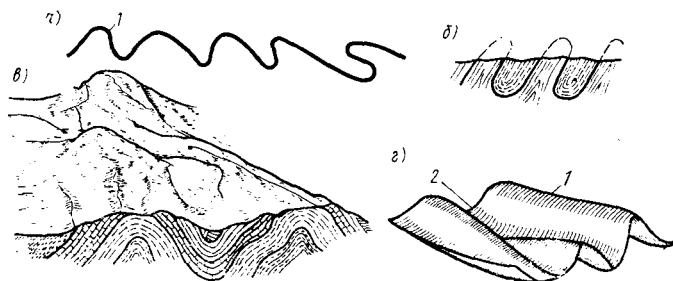


Рис. 3.2. Различные формы антиклинальных и синклиналиных складок:

а — прямая, косая, наклонная, запрокинутая и опрокинутая складки; б — изоклинальные складки; в — отражение антиклинальных и синклиналиных складок в рельефе; г — кулисообразно расположенные антиклинали; 1 — антиклиналь; 2 — синклиналь

нообразными формами (рис. 3.1—3.3). Среди складок выделяются антиклинальные формы, изгиб которых обращен выпуклостью вверх, а центральные части в связи с этим состоят из более древних пород, чем их краевые части (крылья), и синклинали, в которых изгиб слоев обращен выпуклостью вниз, а центральные части состоят из молодых пород, т. е. моложе, чем их крылья. У смежных складок этого типа одна часть является общей.

В строении любой складки выделяют крылья, замок и ядро. Положение складки в пространстве устанавливается по ее прости-

ранию и падению (наклону) ее крыльев. *Простираие* — это линия пересечения слоя с горизонтальной плоскостью. По характеру расположения в плане складки делятся на линейные с отношением длины к ширине, бóльшим 1; брахиоформные с отношением длины к ширине меньшим 1; куполовидные с примерно одинаковой длиной и шириной.

По положению осевой поверхности складки могут быть симметричными и асимметричными. *Симметричными* называют складки, у которых крылья по ширине и наклону приблизительно одинаковы; *асимметричными* — у которых размеры и наклон крыльев неодинаковы.

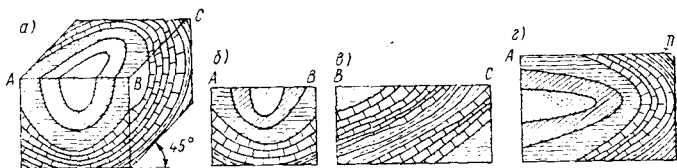


Рис. 3.3. Схема разрезов синклинальной складки, построенных по линиям, составляющим различные углы с линией простираия:

a — блок-диаграмма синклинальной складки; *б* — вертикальный разрез вкрест простираия по линии *AB*; *в* — то же, по линии *BC*; *г* — горизонтальный разрез по линии *AD*

По соотношению геометрии (размеров, наклона и размещения) крыльев относительно осевой плоскости складок выделяют: простые — с падением крыльев в разные стороны; складки изоклинальные; с параллельным расположением крыльев; складки, которые при вертикальном положении крыльев называются прямыми, а при наклонном — опрокинутыми; веерообразные — с веерообразным положением слоев.

Характер складчатости зависит от свойств слагающих складки пород. Например, складки, в строении которых принимают участие слои глин, обычно более крупные и сжатые, чем складки, сложенные гранитами, известняками и песчаниками. При складкообразовании происходит скольжение слоев относительно друг друга, и вследствие трения, возникающего по поверхности разделов слоев, в них происходят деформации сдвига, что обуславливает расщепление пород и кливаж течения, раскола и сплющивания.

Наблюдения показывают также, что в слоях, собранных в складки, длинные оси минералов в породе располагаются параллельно слою, т. е. наблюдается явно выраженное отражение пластики слоя в структурах течения или в ориентации длинных осей минералов. Это явление известно под названием *кливажа течения*. Характерно, что трещины, связанные с кливажем течения, располагаются перпендикулярно направлению сжатия и параллельно направлению растяжения слоев, в связи с чем кливаж течения всегда ориентирован вдоль длинной оси деформации.

Заметим, что обстоятельства эти, относящиеся к кинематической * характеристике пород, подвергшихся деформациям, в связи со складкообразованием проливают свет на вопрос о движении земной коры, или, другими словами, служат показателями кинетических ** процессов.

В отличие от трещин кливажа течения трещины кливажа раскола являются следствием скалывания породы и их плоскости отвечают плоскостям максимальных скалывающих напряжений. Кливаж раскола не связан с текстурой породы, как кливаж течения; в результате кливажа раскола породы разбиваются на тонкие плитки размерами от 0,5 до 2 см.

3.2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О МЕТОДАХ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ФОРМ, РАЗРЫВОВ, ТРЕЩИНОВАТОСТИ И ИХ ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

При производстве инженерно-геологических изысканий, выполняемых для обоснования технических условий строительства в конкретной геологической обстановке, геологические структуры традиционно рассматриваются только с морфологической точки зрения. Но описание форм тектонических нарушений далеко недостаточно для познания природы явления и не отвечает на многие важные практические вопросы. Именно такой неполноценный подход к изучению структурных характеристик основания проектируемых и строящихся сооружений неизбежно приводит к неправильным решениям и выводам, заставляя предусматривать излишние защитные мероприятия — цементационные завесы: площадную цементацию, заделку бетоном полости тектонических разрывов, укрепительные работы в береговых примыканиях, солевые гидравлические завесы для предотвращения растворения солей в основании плотины и т. д.

Часто такие защитные сооружения, применяемые для обеспечения нормальных условий статической и гидравлической работы плотин, являются весьма сложными, а стоимость их чрезвычайно большой. Можно, например, указать на защитные мероприятия, предусмотренные проектами Рагунской (р. Вахш, Средняя Азия), Ингульской (ГЭС на р. Ингури в Грузии) и других ГЭС.

Проф. В. В. Белоусов считает, что морфологические и кинематические способы изучения строения земной коры основные, но представление о самих тектонических движениях получается

* *Кинематика* — отдел механики, рассматривающий движение тел только с геометрической стороны, дает лишь описание движения независимо от физических причин или сил, вызывающих движение. Например, измеренная величина современного понятия, равная 10 см/год по вертикали, — кинематика; в данном случае рассматривается величина поднятия в см.

** *Кинетика* — отрасль динамики, трактующая о силах, сообщающих движение телам или изменяющим движение тел. Например, поднятие земной коры вследствие действия разгрузки поверхности Земли (допустим от льдов) — кинетика; здесь рассматривается сила, сообщающая движение телу.

почти исключительно путем изучения структурных форм, являющихся конечным результатом движения. Однако В. В. Белоусов не приводит в своих рассуждениях характеристики признаков, отмечающих силы и направленность тектонических движений, а при этом затруднителен или даже вообще невозможен анализ влияния тектонической структуры на сооружение и сооружения на окружающую его среду. В. В. Белоусов оперирует исключительно морфологическим и кинематическим способами изучения тектонических структур, т. е. рассматривая их в статическом состоянии. Но такие способы являются лишь путем формального геометрического изучения структурных форм как конечных результатов тектонического движения.

Между тем тектонические структуры всегда оставляют следы движения, являющиеся своеобразными иероглифами, отражающими условия движения. Это геодинамический или кинетический способы изучения движения земной коры. Использование этого способа требует тщательно исследовать: морфологию структурных форм и их пространственное расположение; кинематику структур для получения данных о движении земной коры с геометрической точки зрения, не зависимой от физических причин или сил, вызвавших это движение; характер и интенсивность современных вертикальных и горизонтальных перемещений земной коры в пределах площадей изучаемых структур; закономерности физических процессов, генетически связанных с историей развития изучаемой структуры, и тех же процессов, определивших историю развития других структур, для сопоставления и выяснения комплекса закономерностей в общем геотектоническом развитии; текстуру пород, условия их гранитизации и степени метаморфизма, симметрию; анизотропию, неоднородность кливажа, системы трещин, отдельности, сланцеватость как особенности и признаки движущей силы в перемещении земной коры или в деформации некоторых ее объемов.

Значимость указанных исследований в кинематическом аспекте может быть пояснена на примерах, взятых из опыта производства инженерно-геологических изысканий и конкретного проектирования.

3.3. АНАЛИЗ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СТРУКТУР И РАЗРЫВОВ

Вопрос о том, является ли тектоническая форма результатом растяжения или отрыва (сбросом) или же результатом сжатия и скалывания (взбросом) представляет исключительно важное значение. В первом случае структура может характеризоваться наличием многочисленных зияющих трещин — основных и оперяющих, во втором — трещины будут притерты или закрыты.

Сбросами называются нарушения, поверхность разрыва которых или сместитель наклонены в сторону опущенного крыла. У сброса опущенное висячее крыло может располагаться с правой и левой сторон сбрасывателя (рис. 3.4, а).

Взброс представляет нарушение, в котором сбрасыватель наклонен в сторону висячего приподнятого крыла. Это крыло лежит над сбрасывателем (рис. 3.4, б и рис. 3.5).

Сказанное свидетельствует о том, что при изучении структур, в особенности структур складчатых и разрывных, различать сбросовые формы нарушений от взбросовых форм чрезвычайно сложно и требует самого скрупулезного исследования стратиграфии. При ином подходе к делу допущенные ошибки, как это уже отмечалось, влекут за собой крайне нежелательные последствия.

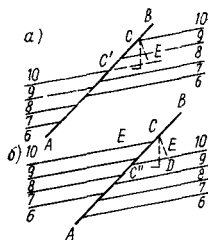


Рис. 3.4. Схема амплитуд сброса (а) и взброса (б):

CC' — наклонная; CD — вертикальная; $C'D$ — горизонтальная; CE — стратиграфическая граница; AB — сбрасыватель; 6—10 — номера слоев

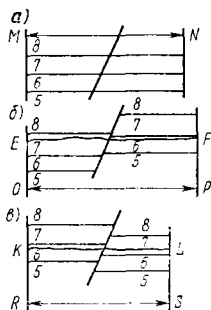


Рис. 3.5. Схема сброса и взброса:

a — участок земной коры до разрыва; b — сброс; $в$ — взброс; EF и KL — поверхности размыва после сброса и взброса; MN — ширина участка до разрыва; OP — то же, после сброса; RS — то же, после взброса; 5—8 — номера слоев

При детальном исследовании стратиграфии следует иметь в виду и другие обстоятельства, относящиеся к пространственной геометрической характеристике структур. Сбрасыватели или взбрасыватели являются главными осями структурных форм. Они могут быть ориентированы продольно по отношению к структуре, поперечно и диагонально. Продольные оси расположены параллельно простиранию слоев, поперечные — вкрест простирания и диагональные — под углом 45° к простиранию. Поэтому бывает трудно решить вопрос о том, что представляют собой тектонические разрывы (A , B , B) в геологическом разрезе створа плотины (рис. 3.6) — сбросы или взбросы, в особенности когда пестрота литологического состава пород не позволяет установить между ними в достаточной мере отчетливые стратиграфические соотношения. На этой фигуре крыло № 1 является висячим, опущенным, лежащим над сместителем A . Слои крыла № 2 являются лежащими, приподнятыми и лежащими под сместителем A . Слои крыла № 2 расположены выше слоев крыла № 1. Таким образом, если до смещения по разрыву A слой

того и другого крыла совмещались, продолжая друг друга, т.е. после смещения слои крыла № 1 опустились по отношению к слоям крыла № 2. В структуре, где сместителем является разрыв *Б*, слои в зоне № 2 являются висячими, так как они лежат на сместителе *Б*. Слои крыла № 3 являются лежащими, так как они лежат под сместителем *Б*. Все это показывает, что в исследуемой структуре слои крыла № 2 опущены, а слои крыла № 3 приподняты (правильнее, может быть, говорить об относительном смещении). Из сказанного следует, что форма нарушений по разрывам *А* и *Б* представляет собой сбросы.

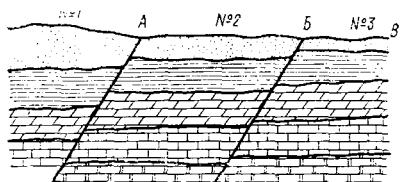


Рис. 3.6. Разрывы с образованием взбросов

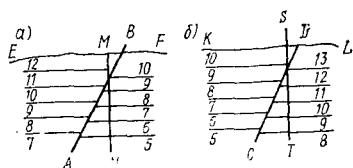


Рис. 3.7. Схема сброса (а) и взброса (б), пробуренных скважинами *MN* и *ST*:

K — поверхность Земли; *CD* — взбрасыватель; 5—10 — слои поднятого висячего крыла; 8—13 — слои опущенного лежащего крыла; *T* — буровая скважина

Исследование тектонической структуры обнаруживает наличие ряда параллельно расположенных взбросов, являющихся разломами второго порядка, принимая во внимание находящийся по близости крупный региональный разлом — разлом первого порядка. Но выяснение характера нарушений требует прежде всего достаточно полного исследования стратиграфии, а также и соотношений отдельных элементов тектонических структур.

При исследовании стратиграфии посредством буровых скважин следует иметь в виду, что в структурах сбросов и взбросов скважины пройдут в слоях, залегающих в разной последовательности. Представим себе, что скважина пересекает плоскость сбрасывателя (рис. 3.7). В случае сброса относительно поверхности земли *E*, сбрасыватель *AB*, слои 12—7 входят в состав поднятого висячего крыла, а слои 10—5 — опущенного лежащего крыла.

Скважина *M* пройдет слой 12, верхнюю часть 11. Скважина не проходит нижнюю часть слоя 11, весь слой 10, а ниже проходит все слои 9—5.

В случае взброса скважина, пересекающая плоскость взбрасывателя, пройдет слой 10 в поднятом висячем крыле и в том же крыле большую часть слоя 9 и, после пересечения взбрасывателя, войдет в слой 12, пройдет его нижнюю часть и дальше войдет в слои 11 и 10, включая часть слоя 10, которая уже пройдена скважиной, а также слой 9, частично уже пройденный скважиной (рис. 3.7).

Как видно, при сбросе в геологическом разрезе некоторые слои (рис. 3.7) — слой 10, нижняя часть слоя 11 — будут выпадать, а при взбросе некоторые слои будут повторяться (слои 10 и 9). Легко видеть, что взбросы и надвиги составляют генетически одну группу разрывных тектонических нарушений, так как происходят вследствие тангенциального сжатия. Взбросы переходят в надвиги, поэтому в складчатых областях часто фиксируются как взбросы-надвиги. Если под взбросом понимаются разрывные структуры, представленные поднятием одного участка земной коры относительно другого, то надвиг представляет разрывное смещение, возникающее вследствие горизонтального тектонического движения (рис. 3.8). Надвиги обусловлены полной складчатостью и представляют ее дальнейшее развитие.

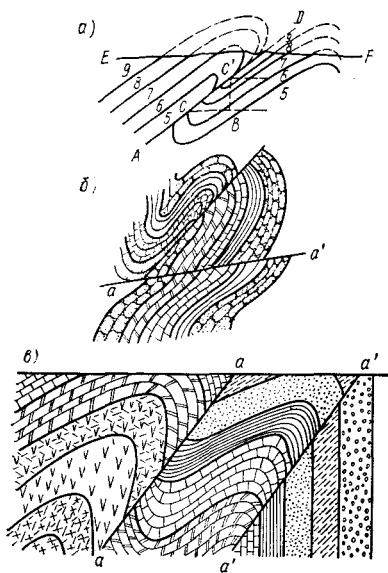


Рис. 3.8. Схема надвигов:

a — подвернутый; *б* — секущий; *в* — связанный со складками; *AD* — плоскость надвига; *CC'* — наклонная амплитуда; *CB* и *C'B* — то же, вертикальные; *EF* — поверхность размыва; *a-a'* и *a'-a'* — плоскости смещения

ем складок; возникающие при образовании грабенов (рифтов) и горстов (рис. 3.10).



Рис. 3.9. Схема сдвига:

a — вертикальный; *б* — наклонный; *в* — горизонтальный

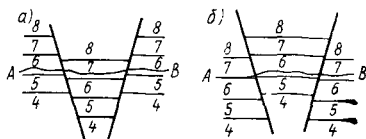


Рис. 3.10. Схема грабена (*a*) и горста (*б*):

AB — поверхности размыва

3.4. СЛЕДЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОРОДЫ В ПРОЦЕССЕ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ

В инженерно-геологических целях весьма существенно установить, какие следы механического воздействия движущих сил сохранились на породах горного массива вдоль их простираия, перпендикулярно к нему и диагонально. Возможно, что на слоях, испытавших разрыв, указанные следы идентичны во всех случаях, но не исключена возможность обнаружения в каждом из них своеобразных штрихов и борозд скольжения (или отсутствие их в каком-то одном случае), симметрии, кливажа, сланцеватости, изотропии и др.

Кинематическое исследование разрывных структур, в особенности являющихся частями складчатых сооружений, может представлять значительный практический интерес. Как и другие исследования этого рода, выполняемые в других геологических обстановках, они заключаются в измерении величин смещений. Разумеется, что особое внимание при этом следует уделять определению амплитуд смещений и, главным образом, горизонтальных смещений, учитывая, что в случае сжатия земной коры образуются взбросы (значение горизонтальной амплитуды зависит от угла наклона взбрасывателя и амплитуды перемещения по взбросу (см. рис. 3.5), а в случае растяжения — сбросы (рис. 3.11).

Геометрические изменения величин сжатия и расширения будут показателями тектонического потенциала (напряжения) сил исследуемого поля, в границы которого вписана та или иная структурная форма. Вместе с тем смещения, измеренные по осям максимального сжатия и растяжения, позволят судить о направленности движения участка земной коры как в пределах исследуемой структуры и отдельных ее элементов, так и за ее пределами.

Наиболее надежным способом определения амплитуд и направлений смещения является разорванный маркирующий слой, а при глубоких разрывах — анализ фаций и амплитуда сдвигов, сопровождающих радиальные смещения. Однако этих весьма показательных данных было бы все же недостаточно для достоверных результатов исследований и не внесло бы ясности в характеристику кинематических и тем более динамических (кинетических) параметров тектонических движений.

Для уяснения условий тектонических движений и в какой-то мере сил, сообщающих движение земной коре, необходимо исполь-

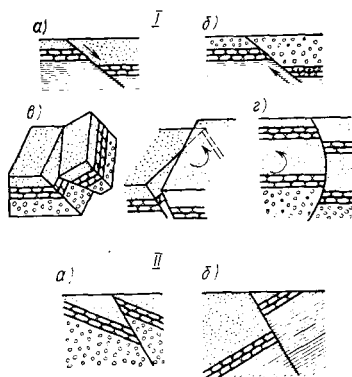


Рис. 3.11. Схемы сбросов:

I — по направлению движения крыльев; а — прямой; б — обратный; в — шарнирный; г — цилиндрический; II — по соотношению наклона поверхности разрыва и слоев; а — согласный; б — несогласный

зовать все признаки движения, происходящие в горных породах. Мы имеем в виду петроструктурный анализ и прежде всего ориентировку в породах минералов и микротрещин, выраженных в явлениях кливажей течения, разлома скалывания, сплющивания (осевой плоскости), слоевого и межслоевого скольжения и др.

Остановимся на самой общей и краткой характеристике этого явления. Оно связано с закономерной ориентировкой плоских и удлинённых минералов горной породы во всей их массе, а также с микротрещиноватостью; это кливаж течения. Характерно, что участие в образовании этого кливажа всей массы породы является результатом течения ее в твердом состоянии. В данном случае можно говорить о пластическом течении, хотя с физической точки зрения это представляется с первого взгляда парадоксальным.

Система параллельных трещин, по плоскостям которых порода легко раскалывается на плитки с ровной поверхностью, называется сланцеватостью. Пространственное положение поверхностей сланцеватости совпадает с направлением кливажа течения, т. е. с главной осью деформации.

В отличие от кливажа течения в деформированных породах обнаруживаются системы часто расположенных параллельных друг другу тонких трещин, разделяющих породы на пластинки. Внутри трещин минеральные зерна сохраняют свой первоначальный облик, не изменяя структуры. Это кливаж разлома, для которого характерен ряд параллельных поверхностей, образованных скольжением породы при действии на нее тектонических сил (сдвигающих напряжений). При исследовании кливажа надо иметь в виду, что кливаж и слоистость — это явления, образование которых связано с различными процессами.

Любой тип кливажа представляет собой остаточное явление, возникающее в процессе складкообразования. Поэтому использовать кливаж в качестве признаков трансформации вещества пород в условиях геодинамической обстановки можно лишь при изучении складчатых структур, в том числе, когда необходимо изучать разрывные структуры с точки зрения механизма их образования (сжатие, скалывание — касательные напряжения, растяжение — отрыв) — нормальные напряжения, сдвиг — скалывание и отрыв, разлिनзование.

Весьма показательным является метод сравнения, заключающийся в сопоставлении данных петроструктурного анализа пород участка складчатого пояса, не подвергшегося разрывам, и пород рядом расположенной складчато-разрывной структуры. Сопоставление тех и других данных имеет не только кинематическое значение, отражая пространственные изменения в положении разрывной структуры относительно общего простирания складчатого пояса, но и определенного рода характеристики кинетических (динамических) процессов.

Кливаж в качестве косвенного метода реконструкции тектонических движений геологического прошлого естественно должен сочетаться с комплексом всех признаков, представляющих собой ме-

ханическое выражение процессов формирования структуры. В качестве важных составляющих этого комплекса являются изотропность, анизотропность, направленность, неоднородность и другие виды закономерно распределенных и ориентированных в массе породы текстурных признаков, известных под общим названием симметрии. Огромное значение в реконструкции тектонических движений имеют данные о вертикальных и горизонтальных остаточных напряжениях в породах изучаемого массива.

3.5. ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕФОРМАЦИЙ ГОРНЫХ ПОРОД

В минералах и горных породах наблюдаются деформации, т. е. изменение их формы под влиянием внешних сил — напряжения, в результате чего происходит сжатие, растяжение, изгиб и другие изменения формы тела. Деформациям подвергаются твердые, жидкие и газообразные тела. Деформации могут происходить не только под влиянием напряжения, но и изменения температуры, физических и химических свойств минералов и горных пород.

Твердые тела обладают способностью деформироваться по-разному, что обусловлено их неодинаковой прочностью. Прочность на разрыв определяется отношением нагрузки, при которой происходит разрыв, к площади сечения испытуемого тела. Также устанавливается прочность на сжатие, кручение и др.

Испытания твердых кристаллических тел показали, что существует два типа разрушения: 1) исследуемый образец до разрушения не имеет каких-либо видимых изменений; 2) форма образца удлиняется или сжимается, а в месте разрыва образуется сужение — шейка (рис. 3.12). Первая деформация называется *хрупкой*, а вторая — *пластической*. При изменении температуры или скорости деформации испытываемого тела можно обнаружить переход хрупкой деформации в пластическую.

Твердые тела по разлому подвергаются механическому разрушению. Говоря о прочности, нужно установить, каким способом произошло разрушение тела: растяжением, сжатием, сдвигом, кручением или каким-либо иным. Способы разрушения служат указанием на характер деформации и соответственно на условия напряженного состояния. Пределом прочности на одноосное сжатие служит состояние упругости, при котором наступает хрупкое разрушение или пластическое течение. Прочность зависит от состояния целостности и характера поверхности образца и его размера. Хрупкая прочность характерна больше для пород с идеально правильным строением кристаллической решетки. Хрупкие и пластические деформации относятся к необратимым изменениям. Упругие

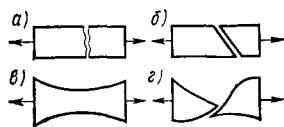


Рис. 3.12. Разрушение горной породы при отрыве и скалывании:

а — отрыв; б — хрупкое скалывание; в — образование пережима; г — вязкое скалывание при растяжении (разлизование)

или эластические деформации относятся к обратимым и изменяют форму тела только при действии нагрузки, а после снятия нагрузки полностью восстанавливаются.

Силы, действующие на тело, подразделяются на поверхностные и объемные, т. е. те, которые приложены к поверхности тела, и те, которые распределены в объеме всего тела. При действии внешних сил внутри тела возникают внутренние силы, противодействующие внешним силам. Внешние силы обуславливают изменения внутриатомных расстояний в кристаллической решетке минералов, что и приводит к изменению формы тела.

Силы сопротивления внешним силам выражены определенными, большими или меньшими, напряжениями. Мерой напряжения p является предел отношения внутренних сил к единице сечения (площади) тела A .

Напряжение (в Па) прямо пропорционально нагрузке (внешним силам):

$$p = \lim_{A \rightarrow 0} \frac{\Delta p}{\Delta A}.$$

При деформации тела узлы кристаллической решетки отклоняются от нормального положения, и при этом физико-химические свойства тела отличаются от физико-химических свойств тела до деформации. Различают напряженное состояние тела и напряженное состояние точки внутри тела.

Глава 4

ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ

4.1. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Атмосферная вода и поверхностные воды, просачиваясь в землю, распределяются в ней соответственно геологическим условиям: структуре земной коры, водопроницаемости горных пород, температуре, образуя таким образом в верхней части земной коры подземные воды. Кроме атмосферных в земной коре имеются еще воды глубинного происхождения; они являются продуктом взаимодействия кислорода и водорода и выделяются из расплавленных и медленно застывающих горных пород.

Подземные воды, образовавшиеся из атмосферной воды, получили название инфильтрационных вод, поскольку они просачиваются (инфильтруются) в землю. Гидрогеолог Фольгер, в конце XIX в., однако, утверждал, что атмосферные осадки не могут глубоко проникнуть в землю и что единственно правильным надо считать образование подземных вод в порах, трещинах и пустых горных породах за счет конденсации водяных паров, содержащихся в воздухе. Конденсационная теория происхождения подземных вод встретила весьма серьезные возражения. Сводились они к данным

многочисленных наблюдений, показавших, что количество конденсированной воды далеко недостаточно для накопления подземных вод. Геолог Зюсс (1861) назвал воду, образующуюся в недрах Земли, ювенильной (девственной), а атмосферные воды — водозной (поверхностной).

В природе вода находится в различном состоянии: в виде свободно передвигающейся в горных породах, парообразной и физически связанной. Подземные воды в земной коре представлены раз-

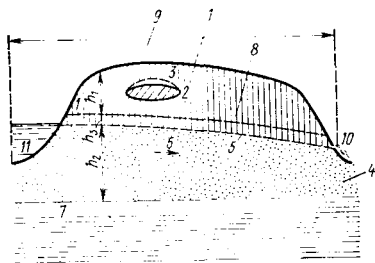


Рис. 4.1. Верховодка и грунтовые воды:

1 — зона аэрации; 2 — водоупорная линза; 3 — верховодка; 4 — водоносный горизонт; 5 — поверхность (зеркало) грунтовых вод или депрессионная кривая; 6 — направление движения грунтовых вод; 7 — водоупор; 8 — уровень капиллярного поднятия; 9 — область распространения и питания грунтовых вод; 10 — область разгрузки (родник); 11 — озеро; h_1 — мощность зоны аэрации; h_2 — мощность водоносного горизонта; h_3 — высота капиллярного поднятия

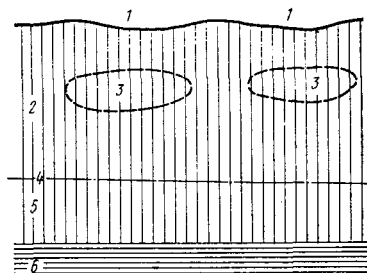


Рис. 4.2. Грунтовые воды степных районов:

1 — степные блюда; 2 — зона аэрации лёссовой толщи; 3 — капиллярно-подвешенный горизонт; 4 — поверхность грунтовых вод; 5 — водоносный горизонт; 6 — водоупор

личными по условиям залегания типами. Тип I — это временно содержащиеся слои или линзы верховодки, получившей свое название от подстилающих их линз глинистых пород в зоне аэрации (рис. 4.1). Режим верховодки непостоянен и зависит от количества выпадающих осадков. Иногда верховодка исчезает, что приурочено к засушливому времени или к зимним холодам, когда она может вымерзнуть. Тип II — это грунтовые воды, являющиеся первым от поверхности Земли водоносным горизонтом, который залегает на первом водоупоре и имеет свободную поверхность, т. е. барометрически связан с атмосферой через зону аэрации (рис. 4.1).

Питание грунтовых вод происходит за счет инфильтрации в земную кору атмосферных вод. При этом поверхность грунтовых вод колеблется в зависимости от количества поступающей воды, т. е. также связана с сезонными факторами. Глубина залегания грунтовых вод в разных местах различна; уровень их может находиться на глубине 30...40 м и на глубине 2 м от поверхности Земли (рис. 4.2). При различных климатических условиях, глубине залегания, составе горных пород изменяется степень минерализации. Тем же закономерностям подчинены и изменения химического состава

ва грунтовых вод, но при этом существенную роль играет еще и скорость движения грунтовых вод как фактор, влияющий на интенсивность обменных химических реакций воды и породы.

К III типу подземных вод относятся межпластовые воды, заполняющие водопроницаемые породы в земной коре ниже первого водоупорного слоя, которым подстилается грунтовые воды (рис. 4.3). Межпластовыми эти воды называются потому, что каждый из водоносных слоев (горизонтов) находится между двумя водоупорными пластами: на нижнем водоупорном слое залегает водопроницаемый слой (например, галечники), перекрываемый верхним водоупорным слоем.

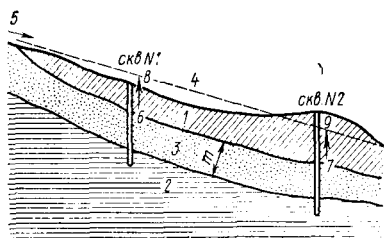


Рис. 4.3. Артезианские воды:

1 и 2 — верхний и нижний водоупоры; 3 — артезианский водоносный горизонт мощностью m ; 4 — пьезометрическая поверхность; 5 — область питания; 6 и 7 — уровень появления воды в буровых скважинах; 8 и 9 — уровень установления воды; 6—8 и 7—9 — высота напора; скв. № 1 — самоизливающаяся

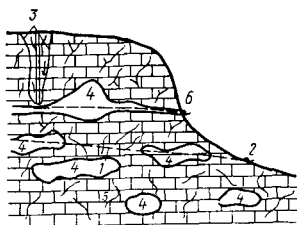


Рис. 4.4. Трещинно-карстовые воды:

1 — уровень постоянного трещинно-карстового водоносного горизонта; 2 — постоянный источник; 3 — трещины и каналы, выходящие на поверхность земли; 4 — карстовые полости; 5 — трещины; 6 — временный источник

Межпластовые воды могут быть напорными и безнапорными. Напорными они становятся тогда, когда вода нацело заполняет водоносный слой от кровли нижнего водоупора до подошвы верхнего водоупора. Безнапорными являются воды, не заполняющие пласты по всему его сечению (рис. 4.3). К напорным всегда относятся артезианские воды. По типу своему это те же межпластовые воды, приуроченные к синклинальным или мульдовым, а иногда и моноклинальным структурам. Артезианские воды (рис. 4.3) питаются за счет инфильтрации атмосферных вод и имеют в пределах распространения области питания и разгрузки. При вскрытии скважиной водоносного артезианского горизонта уровень воды в скважине устанавливается выше кровли водоносного слоя. Этот уровень называют пьезометрическим и соответственно его положению артезианские воды могут быть самоизливающимися — фонтанирующими и неизливающимися (рис. 4.3). Напор воды в скважине измеряется высотой по вертикали от кровли водоносного горизонта до пьезометрического уровня.

К особым типам подземных вод относятся трещинные и карстовые воды, а также воды многолетней мерзлоты. Трещинные воды

находятся в трещиноватых скальных или полускальных магматических породах, метаморфических и осадочных. Водообильность этих пород зависит от степени трещиноватости и ряда других естественных факторов — условий инфильтрации (просачиванию воды сверху), заполнения трещин, дренажа при наличии областей разгрузки и пр. Та же характеристика может быть дана и карстовым водам, приуроченным к полостям, пустотам (пещерам и подземным залам) и трещинам в растворимых горных породах (рис. 4.4). Трещинные и карстовые воды могут быть и напорными и безнапорными в зависимости от гипсометрического положения области питания, пространственного положения трещин, условий разгрузки и пр. (см. рис. 4.3).

Воды многолетней мерзлоты отличаются условиями залегания и распространения. Они подчинены температурному режиму. Среди них выделяют надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные воды. Надмерзлотные воды подразделяют на воды деятельного слоя и воды таликов (участки талых пород). Воды деятельного слоя залегают на глубине 0,5 м и имеют небольшую мощность. Они безнапорные, но могут приобретать временную напорность в зимнее время при резком понижении поверхности рельефа.

Многолетние талики в основном распространены на юге Сибири в породах высокой проницаемости с относительно большими скоростями движения воды. Талики образуются также под реками, водохранилищами и озерами, предохраняющими горные породы от замерзания.

Межмерзлотные воды заключены в толще многолетней мерзлоты. Питаются эти воды за счет вышележащих надмерзлотных вод и подмерзлотных вод, часто обладающих напорным характером. Подмерзлотные воды находятся под толщей многолетнемерзлых пород. Питание этих вод происходит посредством инфильтрации атмосферных осадков, а разгрузка — в талике под реками, озерах и водохранилищах.

Вода, находящаяся в породах земной коры, по-разному связана с ними. По характеру этой связи различают воды конституционные, кристаллизационные и гидратные.

Конституционная вода содержится в молекулах минералов и кристаллических решетках не в виде целых молекул, а в виде разобщенных ионов водорода и гидроксидов, являющихся обязательными составными частями, образующими минерал или горную породу. Эта вода может быть выделена только после химического распада минерала. Минералы с конституционной водой образуются в земной коре лишь в условиях повышенного давления.

Кристаллизационная вода также входит в кристаллическую решетку минерала в виде молекул, причем в строго определенных пропорциях с основными химическими соединениями. Например, минералами, содержащими кристаллизационную воду, могут служить гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и пиробилит ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$). Извлечь кристаллизационную воду из минералов можно путем нагревания, но при этом вещество минерала разрушается. Гидратная вода присо-

единена к частицам коллоидных веществ в виде облекающих слоев молекул — опал ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), лимонит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) — и является составной частью твердого тела.

Подземные воды не связаны с веществом минералов и горных пород. Они могут быть в парообразном, жидком и твердом состояниях, а также в виде льда.

Чем выше температура и ниже давление, тем больше паров может содержать воздух, заполняющий пустоты горных пород. При понижении температуры пары переходят в жидкую воду. Соответственно сказанному можно выделить несколько таких типов вод.

1. Гигроскопическая — в виде обособленных капелек располагается на частицах породы. Капельки плотно адсорбированы частицами породы и под влиянием молекулярных сил притяжения не в состоянии передвигаться в жидкой фазе. Отделиться от частиц породы гигроскопическая вода может, только перейдя в газообразную форму. Ее можно удалить из породы путем нагрева последней до $105 \dots 110^\circ \text{C}$.

2. Пленочная — в виде воды, образующей вокруг частицы породы сплошную пленку. Минимальная толщина пленки может быть равна сечению молекулы воды. Пленочная вода передвигается от частицы с толстой пленкой к частице с более тонкой пленкой в любом направлении, преодолевая гравитационные силы.

3. Капиллярная — содержащаяся в каналах породы, диаметр которых не превышает 1 мм. Эта вода находится под влиянием молекулярных сил и сил поверхностного натяжения. Поднимается она снизу вверх, т. е. в направлении, противоположном действию гравитационных сил.

4. Гравитационная — характеризуется свободной капельножидкой водой, которая перемещается в горных породах под влиянием и по направлению действия силы тяжести, т. е. сверху вниз. Появляется в порах более 1 мм в диаметре.

Приведем теперь характеристики водных свойств горных пород. От пористости породы зависит ее влагоемкость. Влагоемкость — это свойство породы содержать в своих порах то или иное количество воды. Полная влагоемкость — количество воды, заполняющее все пустоты породы. Например, 1 м³ кварца в цельном куске породы может содержать воду в количестве 0,8 л; 1 м³ гранита — 0,5 ... 8,5 л; 1 м³ песка с диаметром песчинок 0,25 мм — 420 л; 1 м³ глины — 525 л и 1 м³ торфа — больше 500 л.

Фактическая влагоемкость определяется количеством воды, действительно содержащимся в породе.

Капиллярная влагоемкость составляет количество воды, удерживаемое горной породой в капиллярах при свободном стоке. Капиллярная влагоемкость тем меньше, чем больше водопроницаемость породы.

Под водоотдачей понимается количество гравитационной воды, которое может содержаться в горной породе и которое она может отдать при откачке. Водоотдача может быть выражена процентным

отношением объема свободно вытекающей из породы воды к объему породы.

Водонасыщение представляет заполнение всех трещин и других пустот в породе, из которой предварительно под вакуумом удален воздух водой, нагнетаемой под давлением до 15 МПа. Количественно водонасыщение выражается отношением поглощенной воды к массе сухой породы. Водонасыщение больше водопоглощения, которое происходит при обычных температуре и давлении. Водопоглощение, таким образом, является способностью пород поглощать воду. Водопоглощение выражается процентным отношением массы поглощенной воды к массе сухой (высушенной при 105 ... 110° С) породы.

Водонасыщенность пород представляет то количество воды, которое отдается породой. По степени водообильности породы делятся на сильноводообильные с дебитом скважины больше 10 л/с, водообильные с дебитом скважины 1 ... 10 л/с, слабоводообильные — 0,1 ... 1 л/с.

Водонасосные породы, а также пласты, линзы и пр. — это такие, в которых поры, трещины и другие пустоты заполнены гравитационными водами — гравитационно-водоносными, водами капиллярными и пленочными водоносными.

Водопроницаемость — свойство пород пропускать воду вследствие наличия в них пор, трещин и других пустот. Величина водопроницаемости определяется коэффициентом водопроницаемости. По степени водопроницаемости породы могут быть разделены на водопроницаемые, полуводопроницаемые и водонепроницаемые.

Водонепроницаемость — свойство горных пород не пропускать воду. К ним относятся, например, нетрещиноватые известняки, кристаллические сланцы и др.

4.2. РЕЖИМ И СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Режим подземных вод — это изменение их уровня, расхода, температуры и химического состава во времени под влиянием естественных (природных) или искусственных факторов. *Естественные факторы* — это изменение количества выпадающих атмосферных осадков, условий питания (за счет поверхностных и подземных вод, лежащих выше водоносных горизонтов) или разгрузки, а также влияние паводков и наводнений. *Искусственные факторы* — это возведение плотин, ирригационных каналов или дренажных канав, водозабор подземных вод, водопонижение или нагнетание воды в скважины, утечки воды из водоводов, вырубка леса и другие мероприятия, связанные с деятельностью человека. Их влияние на изменение природного режима подземных вод зависит от гидрогеологических условий района, а также интенсивности и продолжительности воздействия.

Климат оказывает существенное влияние на режим грунтовых вод. В пределах нашей страны климатические условия весьма разнообразны. В общей схеме с севера на юг наблюдается последова-

тельное увеличение суммы солнечной теплоты, температуры воздуха, испаряемости и уменьшение влажности и снегового покрова. Закономерное изменение климата происходит и с запада на восток. В районах степей и пустынь благодаря созданию крупных водохранилищ, оросительных систем и искусственному лесонасаждению наблюдается изменение микроклимата. Существенное повышение уровня грунтовых вод отмечается в условиях влажного климата вследствие интенсивных атмосферных осадков, незначительного испарения и небольшого поверхностного стока. В засушливых районах с незначительными атмосферными осадками (200 ... 400 мм/год), наоборот, преобладает испарение над инфильтрацией воды в грунт и постепенное понижение уровня грунтовых вод и глубокое их залегание.

Гидрогеологический режим рек влияет на изменение уровня грунтовых вод в пределах речных долин. Наиболее резкий подъем уровня соответствует периоду весеннего паводка. В это время меняется характер гидравлической связи между поверхностными и подземными водами. Если до паводка грунтовые воды питают реку, то в период паводка, наоборот, они питаются речными водами. Неравномерна величина и речного паводка. Так, на р. Волге весенний паводок колеблется в пределах 4 ... 15 м, а на р. Днепре — 3 ... 9 м.

Сооружение гидроузлов, водохранилищ и ирригационных каналов неизбежно вызывает резкое повышение уровня грунтовых вод. Высота и скорость подъема уровня зависят от величины создаваемого подпора, скорости наполнения водохранилища до проектной отметки, гидрогеологического режима поверхностных вод, гидрогеологических особенностей района и других факторов. Изменение уровня грунтовых вод наблюдается как в период наполнения, так и при эксплуатации водохранилища. Наполнение водохранилища происходит обычно в течение нескольких лет и сопровождается изменением условий питания и химического состава грунтовых вод в пределах той или иной береговой зоны. При сработке уровня водохранилища зимой наблюдается соответствующий спад грунтовых вод. Зона влияния крупных водохранилищ прослеживается на десятки километров. В каждом конкретном случае дается прогноз подпора, расчет влияния максимального повышения и понижения уровня водохранилища на положение грунтовых вод, а также проводятся длительные режимные наблюдения.

Эксплуатация ирригационных каналов сопровождается резким изменением режима грунтовых вод, особенно на территориях излишнего полива. Бесперывный, многолетний подъем уровня грунтовых вод наблюдается на массивах орошения. Скорость подъема грунтовых вод определяется водопроницаемостью грунтов, глубиной залегания водоупора, интенсивностью и продолжительностью подачи воды в оросительные системы и достигает 1 ... 1,5 м/год.

Возведение промышленных и гражданских зданий изменяет естественные гидрогеологические условия участка и обычно приводит к постепенному повышению уровня грунтовых вод, затоплению подвалов и подземных коммуникаций. Период строительства и экс-

плуатации сооружений характеризуется следующими особенностями: нарушается сток поверхностных вод в результате прокладки дорог, застройки и разработки территории; резко уменьшается испарение влаги вследствие возведения зданий, устройства асфальтовых или мостовых покрытий; возрастает конденсация водяных паров под сооружениями в связи с перепадом температуры грунтов на открытом участке и под фундаментом; заметно увеличивается питание грунтовых вод за счет утечек воды из водоводов, внутриквартального снегонакопления и интенсивного полива деревьев; при низком качестве производственных работ наблюдается плохая засыпка и трамбовка грунта в пазухах между фундаментом и стенками котлована и возникают очаги дополнительного проникновения поверхностных вод; наблюдается резкий подъем уровня грунтовых вод на участках эксплуатации промышленных предприятий, потребляющих и сбрасывающих большое количество воды.

Быстро повышается уровень грунтовых вод или образуются новые водоносные горизонты в пределах многих крупных промышленных городов, особенно на территориях с относительно неглубоким залеганием водоупорных пород. Например, в Запорожье в отдельные периоды повышение уровня грунтовых вод достигает 1 ... 1,6 м, а в Ростове-на-Дону в течение 30 лет подъем уровня грунтовых вод достиг 15 ... 20 м.

Откачка воды при длительной разработке многих полезных ископаемых или при проведении водопонижительных работ приводит к значительному снижению уровня грунтовых вод. Понижение горизонта грунтовых вод может произойти также при резком увеличении эксплуатационных расходов водозаборных сооружений или при наличии гидравлической связи между грунтовыми и артезианскими водами, широко используемыми для водоснабжения многих городов.

Артезианские воды имеют относительно постоянный режим по сравнению с колебаниями уровня грунтовых вод. Пьезометрический напор под влиянием климатических и гидрологических факторов практически не изменяется во времени. Однако вблизи рек режим артезианских вод (с которыми реки имеют гидравлическую связь) определяется режимом поверхностных вод. Наблюдения показывают, что в этом случае годовая амплитуда колебания уровня напорных вод может достигать значительных величин.

Длительная эксплуатация артезианских водоносных горизонтов в пределах Московской, Тульской, Ленинградской и других промышленных областей привела к образованию колоссальных депрессий и резкому снижению уровня напорных вод. В настоящее время организован контроль по охране ресурсов подземных вод от истощения и загрязнения в широком региональном масштабе.

Трещинно-карстовые воды характеризуются весьма непостоянным режимом: резкое повышение уровня сменяется быстрым спадом. В засушливое время источники карстовых вод могут исчезать. Особенностью карстовых районов является преобладание подземного стока над поверхностным. Карстовые воронки могут поглощать до 70% выпадающих атмосферных осадков. Поверхностный сток

играет существенную роль в условиях так называемого покрытого карста, когда закарстованные породы перекрыты сверху водоупорными. Интенсивное поглощение поверхностных вод вызывает иссушение карстовых районов и весьма затрудняет сельскохозяйственное освоение территории, так как отсутствуют условия для развития растительности.

Воды многолетней мерзлоты характеризуются весьма своеобразным режимом, который обусловлен специфическими климатическими условиями: суровая и продолжительная зима, отрицательная среднегодовая температура воздуха, значительные температурные колебания, малое количество атмосферных осадков, короткое лето. Многие реки зимой полностью замерзают, летом расход их резко увеличивается. Наиболее непостоянным режимом характеризуются воды деятельного слоя, режим которых тесно связан с ходом сезонного промерзания и оттаивания. Нередко они полностью замерзают зимой и могут служить лишь временным источником водоснабжения: на севере — до 3 мес, южнее — до 5 ... 6 мес в году.

Подземные воды имеют весьма разнообразный химический состав. В природных водах обнаружено свыше 60 химических элементов, находящихся в том или ином состоянии. Эти элементы поступают в подземные воды из горных пород, атмосферы и поверхностных вод. Содержание отдельных элементов в природной воде зависит от термодинамических и геохимических условий и меняется при изменениях температуры, давления, содержания кислорода или состава пород. Протекая по порам и трещинам горных пород, подземная вода взаимодействует с ними, меняя состав и свойства. Химический состав воды может меняться не только во времени, но и в плане и разрезе.

Главными факторами, определяющими состав вод, являются литолого-фациальный характер водовмещающих пород, структурно-тектоническая обстановка и гидродинамические условия. По-видимому, в каждом цикле тектогенеза существовали подземные воды определенного химического состава и минерализации. Переход пресных вод в соленые и обратно был вполне закономерным в течение тех или иных геологических эпох.

Общая минерализация воды — это сумма ионов различных нелетучих органических веществ и коллоидов в воде. Она оценивается по сухому или плотному остатку (выраженному в г/л или мг/л), который получается после выпаривания и высушивания солей при 110° С. По величине общей минерализации подземные воды делятся на пресные (с сухим остатком до 1 г/л), слабосоленые (1 ... 5 г/л), солоноватые (5 ... 10 г/л), соленые (10 .. 50 г/л) и рассолы (> 50 г/л). Общая минерализация является одним из основных показателей при оценке качества воды. Практически при общей минерализации более 2 ... 3 г/л вода непригодна для водоснабжения.

Химический состав воды определяется содержанием главных элементов в виде следующих ионов: кальция, магния, хлора, натрия, сульфатов, гидрокарбонатов и карбонатов. В зависимости от соотношения этих основных ионов С. А. Щукаревым составлена химиче-

ская классификация, в которой выделяется 49 классов подземных вод. Пресные воды — преимущественно гидрокарбонатные или сульфатно-гидрокарбонатные; слабоминерализованные — гидрокарбонатно-сульфатные; соленые — сульфатно-хлоридные или хлоридные. При оценке химического состава воды для питьевых целей обращается внимание на то, чтобы концентрация основных ионов не превышала известного предела и не влияла на вкус. Загрязненная вода, содержащая вредные бактерии, непригодна для питья.

Реакция воды — это концентрация водородных ионов, для выражения которой принято пользоваться логарифмом их концентрации, взятым с обратным знаком: $pH = -\lg(H^+)$. При $pH < 7$ вода кислая, при $pH > 7$ — щелочная. В нейтральной химически чистой воде $pH = 7$.

Жесткость воды обусловлена наличием соединений кальция и магния. Общая, или карбонатная, жесткость определяется содержанием $Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$. Некарбонатная жесткость наблюдается при содержании в воде $CaSO_4$, $MgCO_4$ и $CaCl_2$. Жесткость является устранимой, когда при кипячении воды бикарбонаты переходят в карбонаты и выпадают в осадок. По жесткости вода может быть мягкой, средней жесткости, жесткой, очень жесткой.

Природные воды содержат в растворе ряд элементов и газов, которые могут обуславливать агрессивные свойства воды по отношению к бетону, многим видам цемента и железу. Растворение карбоната кальция в воде, содержащей свободную углекислоту, выражается следующим уравнением: $CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightleftharpoons Ca^{2+} + 2HCO_3^-$. Этот процесс обратим и до конца не доходит, т. е. часть имеющейся в растворе углекислоты остается после реакции в свободном состоянии. Каждому определенному содержанию HCO_3^- в воде, находящейся в равновесии с твердым $CaCO_3$, отвечает строго определенное содержание свободной углекислоты. Это количество свободной углекислоты, отвечающее равновесию, называется *углекислотой равновесия*. Если содержание свободной углекислоты в воде меньше, чем нужно для равновесия, то равновесие сдвигается влево и будет сопровождаться выделением из воды твердого углекислого кальция. Если же содержание свободной углекислоты в воде больше, чем нужно для равновесия, то равновесие сдвигается вправо, и при соприкосновении такой воды с твердым $CaCO_3$ последний начнет растворяться.

Процесс растворения будет продолжаться до тех пор, пока часть углекислоты не израсходуется и не наступит равновесие. Та часть свободной углекислоты, которая при этом будет потрачена на растворение углекислого кальция, называется *агрессивной углекислотой*. Растворение и выщелачивание свободной кристаллической извести из цемента не только ослабляет прочность бетона, но и влечет за собой разложение других составных частей цемента (силикатов и алюминатов кальция).

Вопрос об определении агрессивной углекислоты имеет большое практическое значение при производстве бетонных работ. Оценка агрессивности воды по отношению к бетону и железобетону опре-

деляется по особым нормам. Для приготовления гидротехнического бетона выбирают цемент, по отношению к которому данная вода как среда не является агрессивной по всем установленным нормам и признакам агрессивности. Если воду признали агрессивной по отношению к выбранному цементу хотя бы по одному признаку, то водостойкость бетона должна быть обеспечена специальными мероприятиями: гидроизоляцией, применением защитных оболочек, снижением степени агрессивности воды, дренажем.

Вредными являются подземные воды, содержащие сульфаты. В результате реакции между сульфатами и известью цемента образуется гипс. Кристаллизация гипса в порах бетона сопровождается значительным увеличением гипса в объеме и вызывает снижение прочности бетона и его разрушение. Это явление растрескивания и крошения бетона называется *сульфатной агрессией*. Агрессивность воды определяется содержанием в ней ионов SO_4^{2-} . Слабоагрессивная вода содержит эти ионы в количестве 250..800 мг/л, агрессивная — более 800 мг/л. Наличие агрессивной углекислоты способствует сульфатной агрессии, опасность которой сильно увеличивается также при переменном смачивании и высыхании бетона (в этом случае могут оказаться опасными и слабоагрессивные воды). К агрессивным относятся и подземные воды, содержащие ионы магния в количестве 1000 мг/л.

Коррозия железа происходит в результате замещения железа водородом. Коррозия обуславливается наличием в воде кислорода, агрессивной углекислоты и сероводорода. Соли марганца, сернистого железа, оксида магния, органические вещества, жиры и масла усиливают действие кислорода, являясь катализаторами. Хлориды, нитраты и повышенная температура усиливают коррозию, сульфаты — уменьшают. Кислые воды ($\text{pH} < 7$) считаются корродирующими.

4.3. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ

В результате гидрогеологической съемки и режимных стационарных наблюдений составляются гидрогеологические карты различных видов, на которых показывают распространение водоносных горизонтов, четвертичных или коренных отложений, водоупорные породы, минерализацию подземных вод, динамические запасы и водопроницаемость пород.

Карта гидроизогипс — это карта поверхности грунтовых вод. *Гидроизогипсы* — это линии, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными отметками поверхности грунтовых вод, т. е. это горизонтالي поверхности грунтовых вод. Для построения карты гидроизогипс пользуются данными замеров глубины залегания уровней воды в скважинах, шурфах и колодцах, которые производятся в одно и то же время. Карта гидроизогипс обязательно датируется и в зависимости от сезона, а также в результате эксплуатации подземных вод или возведения гидроузла может сильно меняться (осо-

бенно в излучинах рек). Масштаб карт зависит от общего характера проводимых исследований и колеблется от 1:10 000 до 1:200 000.

Гидроизогипсы проводят на топографической основе методом интерполяции через 1 ... 2 или 5 м, в зависимости от назначения карты. Сгущение гидроизогипс может быть вызвано уменьшением либо мощности водоносного пласта, либо его фильтрационных свойств. Иногда составляются карты изогипс, отвечающие максимальному и минимальному положению поверхности грунтовых вод в исследуемом районе. Карты гидроизогипс, составленные по сезонам, дают хорошее представление о динамике подземных вод. Поверхность грунтовых вод в несколько сглаженном виде повторяет рельеф земной поверхности и только в отдельных местах возможны отклонения от этой закономерности (речные долины или овраги).

Форма поверхности грунтовых вод зависит от геологического строения участка (условия залегания пород, их состава и мощности), условий питания и и дренирования, а также характера их связи с поверхностными водами. На рис. 4.5 приведена схема связи грунтовых вод с речными.

Карта гидроизогипс имеет большое практическое значение при сооружении гидроузлов, проектировании водоснабжения на базе грунтовых вод, выборе промышленной площадки и разработке осушительных мероприятий. По карте гидроизогипс можно определить:

1) направление движения грунтовых вод путем проведения нормали к двум гидроизогипсам в сторону меньших отметок. Направление движения показывают на всем изучаемом участке и особое внимание обращают на зоны, где оно изменяется;

2) величину уклона подземных вод и изменения в уклоне на различных участках $i = (h_1 - h_2) / l$, где h_1 — абсолютная отметка воды в одной точке; h_2 — то же, в другой точке; l — расстояние между этими точками;

3) глубину залегания грунтовых вод по разности отметок поверхностей земли и гидроизогипс;

4) область питания (участки замкнутых гидроизогипс с высокими отметками) и область разгрузки, т. е. область выхода грунтовых вод на поверхность. Водоразделы грунтовых вод характеризуют зоны изменения их направления: поток расходится в разные стороны. Дренирующие участки, напротив, являются зонами, где суммируются потоки, идущие из разных областей;

5) связь грунтовых вод с поверхностными: если они направлены к реке, то дренируются рекой, и, наоборот, река питает грунтовые воды, когда они направлены от реки (см. рис. 4.5);

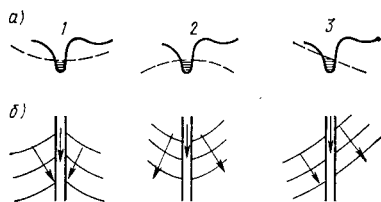


Рис. 4.5. Схема связи грунтовых и речных вод:

a — разрез; *b* — карта изогипс; 1 — река питается грунтовыми водами; 2 — река питает грунтовые воды; 3 — река питает один берег и дренирует другой

6) расход плоского грунтового потока шириной b по формуле $Q = kibh$, где h — средняя мощность грунтового потока, которая берется из разреза;

7) кажущуюся скорость движения потока, если известен коэффициент фильтрации: $v = ki$;

8) место положения дренажной канавы перпендикулярно грунтовому потоку.

Карта изопьез — эта карта поверхностных напорных вод. *Изопьезы*, или *пьезоизогипсы*, — это линии, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными отметками пьезометрического уровня. Это карта, как и карта гидроизогипс, строится на топографической основе методом интерполяции. В отличие от карты гидроизогипс при построении карты изопьез можно пользоваться замерами уровней, которые производились в разное время, поскольку напорные воды характеризуются обычно относительно постоянным режимом. Исключения составляют участки интенсивной откачки (эксплуатационной или при водопонижении) и гидрогеологических «окон», где наблюдается гидравлическая связь с грунтовыми и поверхностными водами. Масштаб этих карт обычно меняется от 1 : 25 000 до 1 : 200 000.

Сближение изопьез указывает на резкое уменьшение мощности и ширины потока или уменьшение водопроницаемости пород. Карта изопьез обязательно сопровождается гидрогеологическими разрезами. По карте изопьез можно определить ряд важных показателей водоносного пласта и охарактеризовать особенности его строения, в частности: направление движения артезианского потока и характер изменения пьезометрической поверхности, а также причины, обуславливающие эти изменения; величину напора; глубину залегания напорных вод; пьезометрический уклон; области питания и разгрузки; участки возможного самоизлива (где абсолютные отметки поверхности земли ниже отметок пьезометрического уровня и при бурении скважин вода будет изливаться на поверхность); наличие гидравлической связи с грунтовыми и речными водами.

Карта гидроизобат — это карта глубин залегания грунтовых вод. *Гидроизобаты* — линии равных глубин, которые строят по данным замеров этих глубин по скважинам с применением интерполяции на промежуточных участках. Чем сложнее рельеф, тем большее количество замеров по скважине требуется для построения карты. В зависимости от масштаба гидроизобаты проводят через определенные интервалы глубин. Нулевая гидроизобата совпадает с линией пересечения уровня грунтовых вод с дневной поверхностью, которая отмечается на местности выходами родников, образованием болот или озер, дренирующих или питающих грунтовые воды.

Наиболее распространенным способом картирования глубин залегания грунтовых вод является изображение их в виде ряда условных интервалов, ограниченных предельными глубинами до 1 ... 2, 2 ... 5, 5 ... 10 и 10 ... 25 м. Интервалы глубин указываются цифрами внутри контуров различных градаций или различной штриховкой площади их распространения.

Гидрохимические карты показывают изменение минерализации, химических типов подземных вод, жесткости, агрессивности и других элементов по площади. При составлении этих карт ставятся задачи: оценка качества подземных вод для питьевого и хозяйственного водоснабжения; оценка возможного отрицательного влияния подземных вод на инженерные сооружения; выявление закономерностей формирования подземных вод и гидрохимической зональности; изучение влияния их химического состава на развитие карста, оползней и др.

Для построения гидрохимических карт пробы воды на химический анализ отбираются в тех местах, которые позволяют выявить и охарактеризовать существующие зависимости качества воды от естественных условий (фациально-литологического состава водовмещающих пород, климата, условий питания, рельефа, глубины залегания подземных вод) и искусственных факторов (загрязнение производственными и фекальными водами). Эти карты позволяют установить закономерность изменения химического состава и общей минерализации подземных вод в горизонтальном и вертикальном направлении. Масштаб гидрохимических карт должен совпадать с масштабом геолого-литологической, гидрогеологической и геоморфологической карт исследуемого района. Карты обычно сопровождаются гидрохимическими профилями, которые позволяют выявить изменения химического состава подземных вод в определенных направлениях, например по створу плотины.

На гидрохимических картах и профилях выделяют цветом или штриховкой зоны с определенной минерализацией и зоны определенного химического состава, проводят границы между зонами с тем или иным содержанием ионов хлора или сульфатных ионов, характеризующим хлоридную или сульфатную агрессивность вод, и устанавливают зоны различного содержания агрессивной углекислоты.

4.4. ЗАКОН ДВИЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Для решения многих важных практических задач (строительство плотин, промышленных и гражданских сооружений, железных и шоссейных дорог и др.) необходимо знать основные законы движения подземных вод. Как известно из курса физики, движение воды может быть ламинарным и турбулентным. Ламинарное движение воды подчиняется основному закону фильтрации: $Q = ki\omega$, где Q — расход, м³/сут (см³/с); k — коэффициент фильтрации, м/сут (см/с); i — напорный (гидравлический) градиент (уклон); ω — площадь поперечного сечения потока воды.

Этот закон был сформулирован в 1856 г. французским инженером Дарси на основе опытов по фильтрации воды в песке. Многочисленными исследованиями ученых разных стран установлена универсальность этого закона для расчета движения воды в горных породах. Скорость фильтрации определяется выражением: $v = ki$, но эта скорость фиктивная, так как относится она только к части

поперечного сечения потока, равного площади пор породы, а остальная часть занята частицами породы.

Действительная скорость должна относиться к движениям водного потока через поры и, таким образом, определяться по формуле

$$w = Q/(\omega n),$$

где n — пористость. Следовательно, $v = nw$.

Коэффициент фильтрации — это скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице. Он характеризует водопроницаемость пород. Сильноводопроницаемые породы характеризуются $k > 30$ м/сут, средневодопроницаемые — $k = 1...30$ м/сут, слабоводопроницаемые — $k = 0,1...1$ м/сут и водоупорные (глины) — $k < 0,001$ м/сут.

Коэффициент фильтрации является основным расчетным показателем при решении всех гидрогеологических задач — определении фильтрационных потерь из водохранилища, количества воды, протекающей в единицу времени в основании и в береговых примыканиях плотин, расчетах дебита скважин в целях водоснабжения, притока воды в строительные котлованы и т. п.

Существует несколько методов определения коэффициента фильтрации: лабораторный, посредством приборов различной конструкции; полевой, при котором пользуются способом откачек и нагнетаний; расчетный, основанный на характеристике гранулометрического состава пород; геофизический.

Лабораторные определения коэффициента фильтрации проводятся в приборе Г. Н. Каменского. Они сводятся к определению расхода воды, пропускаемой через исследуемый образец породы при установившемся напоре. Опытные откачки из скважин являются наиболее надежным методом определения коэффициента фильтрации грунтов в пределах водоносных горизонтов. Воду откачивают из одной скважины и называют такую откачку одиночной (рис. 4.6). Откачку называют кустовой, если ее производят из центральной скважины, с одновременным наблюдением понижения в ней уровня воды и наблюдением за снижением уровня воды в контрольных наблюдательных скважинах (рис. 4.7).

Для определения дебита скважины исходим из закона Дарси — $Q = ki\omega$, где i и ω — величины переменные.

Для площади поперечного сечения потока (рис. 4.8), текущего в скважину (колодец), при откачке из нее можно записать выражение $\omega = 2\pi x y$ и для напорного градиента в том же сечении $i = dy/dx$.

По данным значений величин напорного градиента и площади

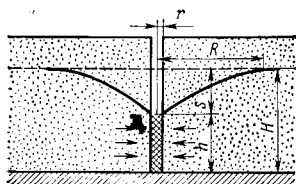


Рис. 4.6. Схема притока грунтовых вод при одиночной откачке:

H — мощность водоносного горизонта или высота столба воды в скважине; S или $H-h$ — понижение воды в скважине (глубина погружения насоса); r — радиус скважины; R — радиус влияния откачки

поперечного сечения потока можно написать основное уравнение Дюпюи о величине расхода колодца. Разделив переменные $Q = \omega k i$ и $2\pi x y k \frac{dy}{dx}$, получим следующее дифференциальное уравнение:

$$2y dy = \frac{Q}{\pi k} \frac{dx}{x}.$$

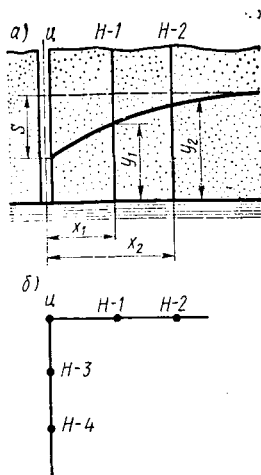


Рис. 4.7. Схема расположения куста скважин:

а — разрез; б — план

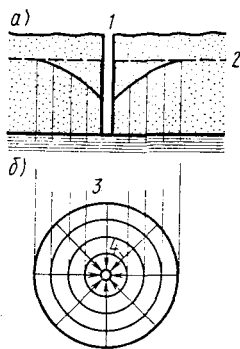


Рис. 4.8. Схема радиально сходящегося в плане потока:

а — план; б — разрез;
1 — скважина; 2 — уровень грунтовых вод; 3 — гидроизогипсы; 4 — линии токов

После интегрирования

$$y^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln x + C.$$

Переходя к определенным интегралам, получим в зависимости от принятых пределов для x и y следующие уравнения кривой депрессии:

$$y_2^2 - y_1^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{x_2}{x_1};$$

$$y_2 - h_2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{x}{r};$$

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R}{r}.$$

Из последнего уравнения получим формулу расхода скважины

$$Q = \frac{\pi k (H^2 - h^2)}{\ln R - \ln r}.$$

Разложив разность квадратов на сумму и разность и считая $H-h=S$, где S — понижение уровня воды в скважине при откачке, будем иметь:

$$Q = \frac{\pi k (H + h) (H - h)}{\ln R/r} = \frac{\pi k (2H - S) S}{\ln R/r}.$$

Приравнивая $S=1$, получим формулу удельного дебита (расхода) скважины при откачке

$$Q = \frac{\pi k (2H - 1)}{\ln R - \ln r}.$$

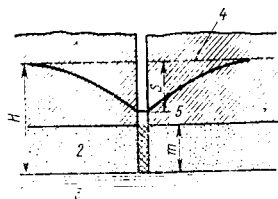


Рис. 4.9. Схема притока воды к совершенной скважине для напорных вод:

1 — верхний водоупор; 2 — напорный водоносный горизонт; 3 — нижний водоупор; 4 — пьезометрический (статический) уровень воды; 5 — динамический уровень воды; m — мощность водоносного горизонта; S — понижение воды; H — высота напора

Для практических целей в эту формулу подставляют значение π и десятичные логарифмы вместо натуральных; получают

$$Q = 1,366 \frac{k (2H - S) S}{\lg (R/r)}$$

$$\text{и } Q = 1,366 k (2H - 1) / \lg (R/r).$$

При откачке воды из скважины, пройденной в артезианском пласте (рис. 4.9), надо учитывать, что приток к скважине происходит в направлении к центру скважины равномерно со всех сторон. Как видно при этом, линии токов в плане размещаются радиусами, а в разрезе — линиями, параллельными границам пласта. Сечения равных напоров изобразятся как поверхности концентрических цилиндров с осью в центре скважины. Принимая основание пласта за ось ox , ось скважины за ось oy для любого цилиндрического сечения депрессионной воронки, показанные ниже значения напорного градиента i и площади сечения ω определяют как $i = dy/dx$ и $\omega = 2\pi x m (dy/dx)$, где m — мощность пласта.

Подставив эти величины в основное уравнение Дарси, определим расход скважины: $Q = k \cdot 2\pi x m (dy/dx)$ или после разделения переменных:

$$dy = \frac{Q}{2\pi k m} \frac{dx}{x}.$$

Проинтегрировав полученное уравнение, будем иметь:

$$y = \frac{Q}{2\pi k m} \ln x + C,$$

где C — постоянная интегрирования. Манипулируя определенными интегралами и пределами переменных x и y , можно решить следующие задачи. При наличии двух наблюдательных скважин, расположенных по одной линии с центральной скважиной, можно, исходя из написанного уравнения, показать, что

$$y_1 = \frac{Q}{2\pi km} \ln x_1 + C; \quad y_2 = \frac{Q}{2\pi km} \ln x_2 + C,$$

где x_1 — расстояние от оси центральной скважины до первой наблюдательной; y_1 — уровень воды в той же скважине; x_2 и y_2 — те же величины для второй наблюдательной скважины.

Вычитая из второго уравнения первое, получим так называемое уравнение Дюпюи:

$$y_2 - y_1 = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{x_2}{x_1}.$$

При одной наблюдательной скважине, отстоящей от центральной на расстоянии x , и пьезометрическом уровне воды в ней, равном y , в качестве наблюдательной точки примем положение пьезометрического уровня u внешней стороны обсадной трубы скважины, равное h , а расстояние от оси скважины до этой точки, равное радиусу скважины r .

Подставив эти данные вместо x_1 , y_1 , x_2 и y_2 в предыдущее уравнение, будем иметь

$$y - h = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{x}{r}.$$

Точка, лежащая на границе депрессионной кривой, будет иметь следующие координаты: расстояние от оси центральной скважины, равное радиусу влияния откачки R , и пьезометрический уровень H , равный высоте столба воды в скважине до откачки. Подставляем эти величины в уравнение Дюпюи, получим

$$H - h = \frac{Q}{2\pi km} \ln \frac{x_2}{x_1}.$$

Определив отсюда Q , получим формулу для расхода артезианской скважины

$$Q = \frac{2\pi km (H - h)}{\ln (R/r)},$$

а приняв $H - h$ за S , эту формулу можно записать так:

$$Q = \frac{2\pi km S}{\ln R/r}.$$

Подставляя в нее значение π и переходя к десятичным логарифмам, будем иметь формулу для расчета дебита артезианской скважины:

$$Q = 2,73 \frac{kmS}{\lg R - \lg r} \quad \text{или} \quad Q = 2,73 \frac{kmS}{\lg (R/r)}.$$

4.5. ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ОДНОРОДНЫХ И НЕОДНОРОДНЫХ ПЛАСТАХ

Однородные подземные потоки подразделяют на плоские и радиальные в плане. Плоским называется поток грунтовых вод, у которого струйки воды более или менее параллельны. В этом случае гидроизогипсы и линии потоков взаимно пересекаются под углом 90° . Плоский поток образуется при движении воды к реке или при фильтрации воды из оросительного канала в сторону оврага

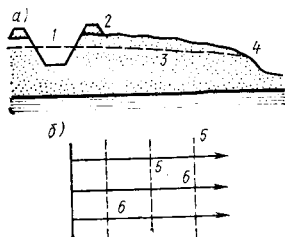


Рис. 4.10. Схема плоского потока:

a — разрез; *б* — план; 1 — канал; 2 — насыпь; 3 — уровень грунтовых вод; 4 — овраг; 5 — гидроизогипсы; 6 — линия токов

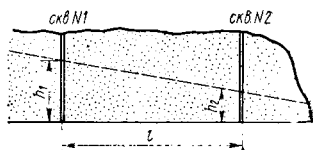


Рис. 4.11. Схема плоского потока при горизонтальном водоупоре

(рис. 4.10). Р а д и а л ь н ы м называется поток (см. рис. 4.8), который направлен по радиусу к скважине (при откачке воды) или по радиусу от нее (при нагнетании воды). При радиальном в плане потоке гидроизогипсы имеют вид кривых линий, нормальных к линиям тока.

Если характеристики подземного потока (мощность, напорный градиент и расход) в определенном сечении принимаются неизменными во времени, то такой поток можно считать установившимся.

Расход плоского потока при горизонтальном водоупоре шириной b определяется из выражения $Q = qb$, где q — единичный расход плоского потока, т. е. количество воды, которое протекает в единицу времени через сечение потока шириной 1 м.

Для определения q воспользуемся схемой, приведенной на рис. 4.11, и законом Дарси.

Для практических целей вполне допустимо средние значения уклона потока и поперечного сечения вычислять по формулам:

$$i_{cp} = (h_1 - h_2)/l; \quad \omega_{cp} = (h_1 + h_2)/2,$$

где h_1 и h_2 — напор воды в скважинах 1 и 2; l — расстояние между скважинами. Следовательно,

$$Q = k(h_1^2 - h_2^2)/(2l).$$

Данную формулу используют для определения притока воды с одной стороны к совершенной дренажной канаве (доведенной до

водоупора) или к галерее, а также подземного питания реки. Приток в канаву при поступлении грунтовых вод с обеих сторон будет вдвое больше.

Расход плоского потока при наклонном водоупоре. В случае наклонного водоупора (рис. 4.12) проводится условная плоскость $O-O$, от которой вычисляют высоту напора в соответствующих скважинах, тогда

$$i_{cp} = (H_1 - H_2)/l \text{ и } \omega_{cp} = (h_1 + h_2)/2.$$

Расход, или производительность, единичного плоского потока

$$Q = k (H_1 - H_2) (h_1 + h_2) / (2l).$$

При движении подземных вод в неоднородных пластах (рис. 4.13) единичный расход плоского потока при горизонтальном

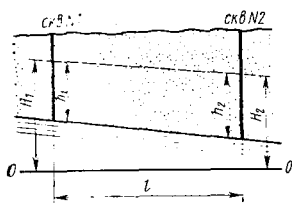


Рис. 4.12. Схема плоского потока при наклонном водоупоре

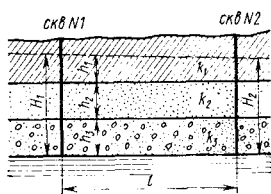


Рис. 4.13. Схема плоского потока в неоднородных пластах

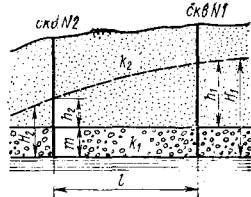


Рис. 4.14. Схема движения грунтовых вод в двухслойном пласте:

m — мощность нижнего слоя с коэффициентом фильтрации k_1 .

водоупоре и фильтрации воды перпендикулярно напластованию и в случае резкой смены водонепроницаемости двух пластов (рис. 4.14) характеризуется выражением

$$Q = (h_1^2 - h_2^2) / 2 (l_1/k_1 + l_2/k_2),$$

где l_1 и l_2 — расстояния от скважин 1 и 2 до границы резкой смены водопроницаемости пластов.

Приведенные формулы лежат в основе различных расчетов, которые необходимы для строительства. В частности, можно указать на приток воды к строительным котлованам. Например, при прямоугольном котловане удлиненной формы, доведенном до водоупора, расчет притока воды определяется по формуле

$$Q_k = qb = \frac{k(h_1^2 - h_2^2)}{2l} 2b \text{ или } Q_k = \frac{kh_{cp}^2 b}{2},$$

где b — ширина потока, а остальные обозначения обычны. При квадратном котловане или широком прямоугольном, а также доведенном до водоупора, приравнивают его площадь A к площади круга с радиусом r_0 и делают расчет по формуле

$$A = A_{\text{кр}} = \pi r_0^2,$$

где r_0 — приведенный радиус котлована, так как $r_0 = \sqrt{Fki\pi}$, приток воды к котловану находится по формуле

$$Q_k = \frac{\pi k (h_1^2 - h_2^2)}{\ln(R/r_0)}.$$

Подобного рода расчеты притока воды производят и для котлованов других форм.

Пример. Строительный котлован глубиной 10,0 м и размерами в плане 16×64 м² располагается на расстоянии $l = 70$ м от реки. В водопроницаемых грунтах, залегающих на глубине $h_1 = 9,9$ м от поверхности, уровень грунтовых вод находится на расстоянии $h_2 = 0,9$ м от поверхности, а коэффициенты фильтрации водоносного слоя $k = 4$ м/сут. Котлован осушается полностью ($h_0 = 0$). Для вычисления притока воды в котлован нужно определить условный радиус большого колодца

$$r_0 = 0,564 \sqrt{16 \cdot 64} = 18,018 \text{ м} \approx 18 \text{ м}.$$

Радиус влияния

$$R = 2(H - h_0) \sqrt{Hk} = 2(9 - 0) \sqrt{4 \cdot 9} = 108 \text{ м, где } H = h_1 - h_2 = 9,9 - 0,9 = 9 \text{ м}.$$

Следовательно, $l = 70R/108 > 0,5R$.

Водоприток в котлован

$$Q = 1,366k \frac{H^2 - h_0^2}{\lg R - \lg r_0} = 1,366 \cdot 4 \frac{9^2 - 0^2}{\lg 108 - \lg 18} = 581 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

4.6. Понижение и повышение уровня подземных вод

Подъем уровня воды в реках в связи со строительством плотин неизбежно приводит к повышению уровня грунтовых вод, сказывающемуся на довольно большом расстоянии от водохранилища. Для застроенных и застраиваемых территорий этот подъем имеет двоякое значение. Во-первых, его следствием могут быть затопление водой подземных частей зданий и сооружений и заболачивание пониженных участков. Во-вторых, подъем уровня грунтовых вод и обусловленное им региональное повышение влажности грунтов оснований зданий и сооружений до состояния полной влагоемкости может быть причиной возникновения дополнительных неравномерных осадок этих зданий и сооружений. Следует отметить, что такие осадки возникают не только в районах распространения лёссовых пород. В некоторых городах, расположенных в верховьях Волги, много времени спустя после появления водохранилищ были обнаружены дополнительные осадки зданий, построенных на супесях, не являющихся просадочными. Понятно, что возможная высота подъема уровня грунтовых вод в результате подпора воды в водохранилище должна быть определена своевременно.

Задача ставится следующим образом: если подъем уровня воды в водохранилище равен z_p , то на какую высоту z_l поднимется уровень подземных вод на расстоянии l от реки.

Влияние подпора распространяется на значительное расстояние от реки с постепенным затуханием этого влияния по мере удаления от нее (рис. 4.15). В соответствии с формулой для расхода плоского потока Q_1 до подпора равен:

$$Q_1 = k_1 \frac{h_l^2 - h_p^2}{2l_1}.$$

Соответственно расход после подпора

$$Q = k_2 \frac{(h_l + z_l)^2 - (h_p + z_p)^2}{2l_2}.$$

Расход подземных вод определяется количеством воды, поступающей в пределы водоносного горизонта за счет инфильтрации атмосферных осадков и конденсации, и от водохранилища не зависит. Поэтому $Q_1 = Q_2$ и

$$k_1 \frac{h_l^2 - h_p^2}{l_1} = k_2 \frac{(h_l + z_l)^2 - (h_p + z_p)^2}{l_2}.$$

Решая это уравнение относительно z_l последовательно, получим

$$(h_l + z_l)^2 = \frac{k_1 l_1}{k_2 l_2} (h_l^2 - h_p^2) + (h_p + z_p)^2;$$

$$z_l = \sqrt{\frac{k_1 l_1}{k_2 l_2} (h_l^2 - h_p^2) + (h_p + z_p)^2} - h_l.$$

Если фильтрационные свойства пород в зоне подъема уровня подземных вод не отличаются от свойств пород водоносного горизонта, то $k_1 = k_2$. При крутом береговом склоне $l_1 = l_2$. В этих условиях

$$z_l = \sqrt{(h_l^2 - h_p^2) + (h_p + z_p)^2} - h_l.$$

Следовательно, для определения влияния подпора на положение уровня подземных вод необходимо иметь данные о положении уровня подземных вод до напора и фильтрационных свойствах пород как в пределах водоносного горизонта, так и выше него.

Приведенные выше формулы дают лишь приближенное представление о влиянии подпора. В настоящее время разработаны достаточно точные методы, позволяющие вычислять не только конечное значение подъема уровня подземных вод в результате подпора, но и скорость этого подъема. Общая продолжительность

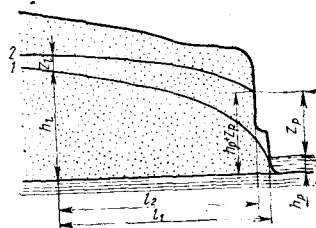


Рис. 4.15. Влияние подпора на положение уровня подземных вод:

1 — уровень подземных вод до подпора; 2 — уровень подземных вод при подпоре; h_p — высота столба воды в реке; z_p — подъем уровня воды в реке; h_l — мощность водоносного горизонта до подпора на расстоянии l от реки; z_l — подъем уровня подземных вод в том же сечении в результате подпора

подъема уровня подземных вод после устройства водохранилищ по этим вычислениям может достигать нескольких десятилетий.

Искусственное понижение уровня подземных вод для осушения водоносных пластов широко применяют в период строительства и эксплуатации водопроводно-канализационных сооружений. Необходимость в защите от подземных вод возникает при отрывке котлованов в водонасыщенных грунтах, ликвидации аварий на действующих коллекторах и других сооружениях, а также при подтоплении уже застроенной территории.

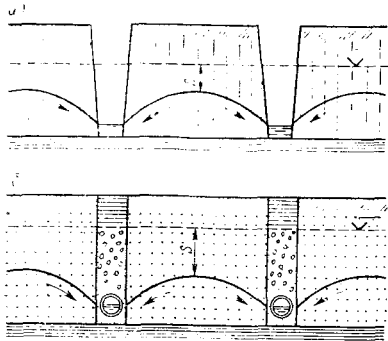


Рис. 4.16. Дренажные траншеи:
а — открытые; б — закрытые

При выборе рационального способа водопонижения учитывают не только характер возводимого или построенного сооружения, размер осушаемой зоны, но и конкретные геологические и гидрогеологические условия. Основной задачей расчетов является достоверное определение возможного водопритока к дренажным и водопонижающим устройствам.

Временное понижение уровня подземных вод (на период строительства) называют *строительным водопонижением*, длительное водопонижение (обычно несколько

лет и более) — *дренажем*. Различают естественный и искусственный дренаж. Осушение местности при естественном дренаже происходит путем естественного стока подземных вод в понижениях (долины, реки, впадины). При искусственном дренаже уровень подземных вод снижается путем сбора и отвода воды специально построенными дренами.

Дрены, или каналы-осушители, не только собирают воду, но и транспортируют ее в сторону от дренирующей площади, т. е. от той зоны, где обеспечено искусственное понижение уровня подземных вод. Водопонижающие дренажи могут быть совершенными и несовершенными. В первом случае они прорезают весь осушаемый водоносный пласт, во втором — до водоупора не доходят. В зависимости от конструкции водоприемных устройств и характера расположения их в толще грунтов различают горизонтальный, вертикальный и комбинированный дренажи.

Горизонтальный дренаж обеспечивает понижение уровня отводом воды с помощью канав (траншей), подземных галерей и других горизонтальных дрен. Отток воды при горизонтальном расположении дрен происходит самотеком. Для этого дренам придают необходимый уклон. Глубина заложения горизонтальных дрен обычно не более 6 м. Дренажные воды сбрасываются в открытые водные притоки или сеть ливневой канализации. Горизонтальный дренаж может быть открытым (осушительные каналы) и закрытым (трубчатые дренажи в траншее). В закрытой траншее для предохра-

нения дренажной трубы от заиливания вокруг нее устраивают обсыпку из нескольких слоев песка и гравия (рис. 4.16). К разновидностям горизонтального дренажа могут быть отнесены и лучевые водозаборы с горизонтальными лучами-дренами, которые применяют на крупных водопонижающих системах в условиях водообильного водоносного горизонта.

Вертикальный дренаж обеспечивает понижение уровня подземных вод откачкой насосами или сбросом воды в нижележащие водопроницаемые породы. Вертикальный дренаж осуществляют с помощью водопонижающих скважин, иглофильтровых установок, поглощающих скважин и открытого водоотлива. Общей их чертой является вертикальное расположение водоприемных устройств.

Осушение глинистых грунтов текучей консистенции с $k < 0,1$ м/сут основано на электроосмотическом явлении. Под действием электротока вода вместе с положительно заряженными ионами перемещается от металлического штыря — анода к иглофильтру-катоде и затем откачивается. Поглощающие скважины устраивают для понижения уровня путем сброса воды верхних водоносных горизонтов в нижние. Принимающий пласт должен иметь уровни ниже подошвы осушаемого пласта и быть достаточно водообильным.

Системы водопонижающих установок и дренажей в зависимости от их расположения по отношению зданий и сооружений подразделяют на линейные, кольцевые (контурные) и площадные системы. *Линейные системы* водопонижающих установок используют для защиты вытянутых в плане выемок типа траншей. *Кольцевые* (или контурные) *системы* применяют при значительных размерах осушаемой зоны, когда линейно расположенные установки не в состоянии осушить водоносный пласт. В зависимости от требуемой глубины понижения и сложности гидрогеологических условий используют один или несколько контуров водопонижающих установок. *Площадные системы* применяют для понижения уровня подземных вод в пределах всего осушаемого участка.

Глава 5

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

5.1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ

Грунтоведение изучает горные породы и почвы, которые рассматриваются как объект инженерной деятельности человека. Наиболее удачно понятие термина «грунт» дается Е. М. Сергеевым (1978). *Грунты* — это любые горные породы и почвы, которые изучаются как многокомпонентные динамические системы с целью познания их как объекта инженерной деятельности человека.

Зерновой (гранулометрический) состав. Под зерновым составом понимается содержание по массе групп частиц грунта различной

крупности по отношению к общей массе абсолютно сухого грунта. По данным зернового состава породы может быть получена приближительная характеристика водопроницаемости песчаных пород; по тем же данным могут быть даны оценки возможности вымывания (механической суффозии) мелких песчаных частиц породы из-под основания сооружений и другие приближенные показатели. На основании данных анализа зернового состава может быть дана оценка пород в качестве материала для бетона, земляных плотин, дамб, железнодорожного балласта и др.

Таблица 5.1

Диаметр частиц, мм	Содержание отдельных фракций, %	Диаметр частиц по совокупности, мм	Суммарное содержание фракций, %
0,01	1,2	0,01	1,2
0,01 ... 0,05	7,3	0,05	8,5
0,05 ... 0,25	48,5	0,02	57,0
0,25 ... 0,5	32,4	0,50	89,4
0,5 ... 1,0	8,2	1,00	97,6
1,0 ... 2,0	2,4	2,00	100,0

Примечание. Кривая строится по числам, записанным в четвертом столбце.

Механический анализ. Для определения зернового состава пород производят механический анализ путем разделения пород на ряд фракций, отличающихся диаметром частиц. После разделения на фракции определяют процентное содержание частиц каждой фракции в исследуемой породе. Ниже приводится краткое описание методов механического анализа, которыми пользуются при инженерно-геологических исследованиях *.

Ситовый анализ заключается в просеивании частиц породы через набор сит с отверстиями различного диаметра. Этот способ служит для анализа песков.

Метод Сабанина, основанный на принципе разделения фракций по скорости падения частиц, взвешенных в спокойной жидкости (метод отмучивания), служит для определения глинистых и пылеватых песчаных пород.

Пипеточный метод, принцип которого заключается в отборе пипеткой проб частиц, не успевших в определенные сроки осесть в процессе отстаивания; применяется для анализа глинистых пород.

Ареометрический метод заключается в измерении специальным ареометром плотности взмученных в воде частиц породы, изменяющейся по мере осаждения их в водной среде.

Метод Рутковского, основанный на способности глинистых фракций набухать в воде и на различной скорости падения частиц в воде

* Механический анализ применяют также при изучении наносов в составе гидрогеологических исследований.

в зависимости от их размеров. Пользуясь этим методом, можно выделить в породе три группы фракций: глинистую, пылеватую и песчаную.

Механический анализ применяется для связных и несвязных пород, имеющих размер частиц не свыше 20 мм. Более крупные фракции определяются непосредственно в поле посредством грохочения (просеивания) на ситах с отверстиями крупного диаметра или путем непосредственных измерений.

Обработка результатов механического анализа. Для изображения зернового состава породы чаще всего строят суммарную (интегральную) кривую, каждая точка которой соответствует сумме фракций, меньших определенного диаметра. Суммарную кривую можно построить в обыкновенном и полулогарифмическом масштабах. Чтобы построить кривую в обыкновенном масштабе, нужно отложить (на миллиметровой) по оси абсцисс размеры частиц (в мм), а по оси ординат — суммированное процентное содержание фракций; при этом процентное содержание фракций, начиная с наиболее мелкой, последовательно суммируется, и по полученным значениям строится кривая.

Суммарная кривая зернового состава, построенная по данным табл. 5.1, изображена на рис. 5.1. В данном случае 1 мм соответствует 0,01 мм диаметра частиц.

Чтобы избежать необходимости изображения слишком растянутой кривой, графики зернового состава обычно строят в полулогарифмическом масштабе (рис. 5.1). В этом случае по оси абсцисс откладывают логарифмы диаметров частиц (в мкм).

Опытным путем установлено, что скорость просачивания воды только через одни частицы песка, равные по своему диаметру частицам песка, составляющим 10%, будет одинакова со скоростью просачивания воды через всю песчаную породу в целом. В связи с этим диаметр частиц, составляющих 10%, называется *действующим или эффективным диаметром* зерен породы, обозначаемым d_{10} или $d_{эф}$. Действующий диаметр находится следующим образом: из точки, соответствующей 10% на оси ординат, проводят линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения с кривой. Из полученной точки пересечения опускается перпендикуляр на ось абсцисс. Диаметр частиц, соответствующий точке пересечения перпендикуляра с осью абсцисс, определит искомое значение действующего диаметра.

Если повторить построение для точки на оси ординат, соответствующей 60%, то можно получить размер частиц, меньше которого в породе содержится 60% частиц; эта величина обозначается через

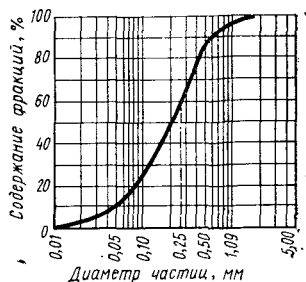


Рис. 5.1. Кривая зернового состава в полулогарифмическом масштабе:

$$d_{10}=0,052; \quad d_{60}=0,26;$$

$$U_{10/60}=0,26/0,052=5$$

d_{60} . Отношение $d_{60}/d_{10} = K_H$ называется *коэффициентом неоднородности*. Чем больше этот коэффициент, тем более неоднородной по своему зерновому составу является данная порода. По характеру кривой зернового состава можно судить также и о степени неоднородности породы; пологая кривая свидетельствует о неоднородности породы, крутая — указывает на однородность последней.

Плотность и пористость породы являются ее важной физической характеристикой. Плотность породы ρ (г/см³) есть отношение массы породы, включая массу воды в ее порах, к занимаемому этой породой объему.

Плотностью частиц грунта ρ_s называют отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к объему твердой части этого грунта. Плотность частиц грунта у горных пород изменяется в небольших пределах от 2,60 до 2,75 г/см³ и для каждой группы пород определяется только ее минералогическим составом.

Величина плотности породы ρ зависит от минералогического состава, влажности и характера сложения (пористости). Она определяется по формуле

$$\rho = m/V,$$

где m — масса породы с естественной влажностью и сложением; V — объем.

Плотность скелета породы или плотность сухого грунта ρ_d представляет собой отношение массы минеральных частиц породы при естественной структуре (исключая массу воды в его порах) к занимаемому этой породой объему:

$$\rho_d = m/V,$$

где m — масса сухого грунта; V — объем.

Плотность скелета породы величина более постоянная по сравнению с плотностью породы ρ и обычно вычисляется по данным плотности и влажности породы по формуле

$$\rho_d = \rho / (1 + 0,01\omega),$$

где ρ — плотность, г/см³; ω — влажность, %.

Пористость пород представляет собой пустоты или свободные промежутки между минеральными частицами, составляющими породу.

Пористость n обычно выражают в виде процентного отношения объема пустот V_n к общему объему породы V :

$$n = (V_n/V) 100\%.$$

Кроме того, пористость можно выразить через плотность:

$$n = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s \cdot 100\%.$$

Отношение объема пустот (пор) к объему твердых минеральных частиц породы называют **приведенной пористостью** или **коэффици-**

ентом пористости. Коэффициент пористости e выражается в долях единицы по формуле

$$e = V_{\text{п}}/V_s,$$

где V_s — объем минеральной части породы.

Коэффициент пористости можно выразить через пористость или плотность по формулам

$$e = n/(1 - n) \text{ или } e = (\rho_s - \rho_d)/\rho_d.$$

Влажностью породы w называют отношение массы воды, содержащейся в порах породы, к массе сухой породы (высушивание ведется при $t = 105 \dots 107^\circ \text{C}$ в течение 8 ч).

Влажность породы является очень важной характеристикой физического состояния породы, определяющей ее прочность и другие свойства при использовании в инженерных целях.

Обозначим массу породы в естественном состоянии вместе с содержащейся в ней водой через m , а массу той же породы, высушенную, как это указано выше, — через m_1 . Тогда влажность выразится формулой

$$w = (m - m_1)/m_1 \cdot 100\%.$$

Таким образом, под естественной (весовой) влажностью породы понимается количество воды, содержащееся в ее порах в естественных условиях.

В грунтах содержатся различные виды воды. Различают, по Е. М. Сергееву (1978), следующие виды воды в грунтах: вода в форме пара; вода в связанном состоянии (прочносвязанная и рыхлосвязанная); капиллярная вода; свободная (гравитационная) вода; вода в твердом состоянии (лед); кристаллизационная и химически связанная вода.

Максимально возможное содержание в грунте связанной, капиллярной и гравитационной воды при полном заполнении пор называют полной влагоемкостью породы: $w_{\text{п}} = n/\rho_d$.

Степенью влажности S_r , или относительной влажностью породы, называется степень заполнения ее пор водой. Она определяется следующим образом:

$$S_r = w\rho_s(100 - n)/n,$$

где w — естественная влажность породы, %; ρ_s — плотность частиц породы; n — пористость, %.

По степени водонасыщенности все рыхлые породы в соответствии со СНиП II-15—74 делятся на четыре основные группы: сухие породы ($k = 0 \dots 0,2$); слабовлажные ($k = 0,2 \dots 0,4$); влажные ($k = 0,4 \dots 0,8$) и насыщенные водой ($k = 0,8 \dots 1$).

Пластичностью называется способность породы изменять под действием внешних сил (давления) свою форму, т. е. деформироваться без разрыва сплошности и сохранять полученную форму, когда действие внешней силы прекратилось.

Деформируемость глинистых пород под действием давления зависит от их консистенции (относительной влажности). Для того чтобы выразить в числовых показателях пределы влажности породы, при которой она обладает пластичностью, введены понятия о верхнем и нижнем пределах пластичности.

Нижним пределом пластичности ω_p (или границей раскатывания) называется такая степень влажности глинистой породы, при которой глинистое тесто, замешанное на дистиллированной воде, при раскатывании его в жгутик диаметром 3 мм начинает крошиться вследствие потери пластических свойств.

Верхний предел пластичности ω_L (или граница текучести) представляет собой такую степень влажности глинистой породы, при которой глинистое тесто, положенное в фарфоровую чашку и разрезанное глубокой бороздой, сливается после трех легких толчков чашки ладонью. При большей степени влажности тесто течет без встряхивания или при одном-двух толчках.

Разница между верхним и нижним пределами пластичности получила название *числа пластичности I_p* . Ниже приведены числа пластичности для разных пород согласно СНиП II-15—74:

I тип — глины (высокопластичные породы)	17
II тип — суглинки (пластичные породы)	17...7
III тип — супеси (слабопластичные породы)	7
IV тип — пески (непластичные породы)	0

Набуханием называется способность глинистых пород при насыщении водой увеличивать свой объем. Возрастание объема породы сопровождается развитием в ней давления набухания. Набухание зависит от содержания в породе глинистых и пылевых частиц и их минералогического состава, а также от химического состава взаимодействующей с породой воды. Бентонитовая глина может, например, увеличить свой объем более чем на 80%, каолиниты и иллитовые частицы — на 25%.

Коэффициент набухания обычно определяют лабораторным способом по приросту объема породы в процессе насыщения ее водой:

$$k = 100(V - V_1)/V_1,$$

где V — объем набухшей от воды породы; V_1 — объем воздушно-сухой породы.

Способность пород к набуханию характеризуется: степенью деформации набухания R_n , определяемой по изменению объема или высоты образца, %; влажностью набухания ω_n , соответствующей такому состоянию породы, при котором прекращается процесс поглощения жидкости, %; давлением набухания p_n , которое развивается при невозможности объемных деформаций в процессе набухания породы, МПа.

Набухание учитывают при строительных работах. Явление набухания породы (главным образом дисперсных) наблюдается в котлованах, выемках, а также при строительстве плотин и водохранилищ, когда изменяются гидрогеологические условия района со-

оружений и увеличивается влажность пород за счет вновь поступающей воды.

Кроме того, принимается во внимание вид породы после распада (пылевидный, пластичный, комковатый) и отмечается размер распавшихся частиц. Глинистые породы размокают в несколько раз медленнее, чем песчаные. Наличие в породе небольшого количества перегноя или извести замедляет размокание.

Усадкой породы называется уменьшение объема породы под влиянием высыхания, зависящее от ее естественной влажности: чем больше влажность, тем больше усадка.

Глинистые породы, характеризующиеся наибольшей пластичностью и наибольшей способностью к набуханию, имеют наибольшую усадку. Усадку определяют обычно в лаборатории.

Размоканием называется способность глинистых пород в соприкосновении со стоячей водой терять связность и разрушаться — превращаться в рыхлую массу с частичной или полной потерей несущей способности. Размокание породы имеет большое значение для характеристики ее строительных качеств. Скорость размокания пород определяет степень ее устойчивости под водой.

Для характеристики размокания пород обычно используют два показателя: время размокания, в течение которого образец породы (главным образом глинистой), помещенный в воду, теряет связность и распадается на структурные элементы разного размера; характер размокания, отражающий качественную картину распада образца породы.

Большая часть пород с кристаллизационными ионно-ковалентными структурными связями является практически неразмокаемой. В противоположность им дисперсные породы, у которых эти связи отсутствуют, относятся к категории размокаемых. Плотные суглинки и глины четвертичные и более древние, не размокающие в воде, размываются лишь при длительном воздействии текучей воды. Размокаемые связные породы, характеризующиеся слабыми структурными связями, размываются быстро, причем их размываемость во многом обуславливается сопротивлением размоканию.

Сжимаемость. Глинистые породы под влиянием нагрузки деформируются, не подвергаясь разрушению. Свойства деформации характеризуются модулем деформации, коэффициентом Пуассона, коэффициентами сжимаемости и консолидации, модулями сдвига и объемного сжатия.

Деформационные свойства дисперсных грунтов определяются их сжимаемостью под нагрузкой, обусловленной смещением частиц относительно друг друга и соответственно уменьшением объема пор, вследствие деформации частиц породы, воды и газа.

При определении сжимаемости грунтов различают показатели, характеризующие зависимость конечной деформации от нагрузки и изменение деформации грунта во времени при постоянной нагрузке. К первой характеристике показателей относятся коэффициент уплотнения a , коэффициент компрессии a_k , модуль осадки e_p ; ко второй — коэффициент консолидации c_v и др.

Испытание грунта без возможности бокового расширения называется *компрессией*. Компрессионная кривая показывает зависимости между коэффициентом пористости e и давлением на грунт p . При небольших давлениях 0,1..0,3 МПа компрессионная кривая в координатах e — p может быть представлена прямой (рис. 5.2). Тангенс угла α называется *коэффициентом уплотнения* при сжимаемости a . По значению a оценивают степень сжимаемости.

$$\operatorname{tg} \alpha = (e_1 - e_2) / (p_2 - p_1) = a.$$

При инженерных расчетах в качестве норм сжимаемости берется значение относительной вертикальной деформации

$$e_p = 1000 (\Delta h / h_0),$$

где Δh — сжатие грунта при нагрузке от p_1 до p_n ; h_0 — мощность образца или слоя грунта.

Рис. 5.2. Компрессионные кривые для образца породы нарушенной структуры:

1 — ветвь нагружения (уплотнение породы); 2 — ветвь разгрузки (разуплотнение породы)

Величина e_p — модуль осадки, представляющий величину сжатия (в мм) образца или слоя грунта мощностью в 1 м при приложении к нему дополнительной нагрузки. По Н. Н. Маслову, степень сжимаемости грунта по величине модуля осадки при $p = 0,3$ МПа может быть охарактеризована следующим образом (табл. 5.2).

Коэффициент уплотнения a связан с модулем общей (линейной) деформации $E_{\text{общ}}$ следующим соотношением:

$$E_{\text{общ}} = \beta (1 + e_p) / a = \beta / C_c,$$

где $C_c = a / (1 + e_p)$ — коэффициент относительной сжимаемости; β — коэффициент, зависящий от коэффициента относительной поперечной деформации грунта (аналогичного коэффициенту Пуассона для упругих тел) и приблизительно равный: для песков — 0,8; для супесей — 0,7; для суглинков — 0,5 и для глин — 0,4.

При нагрузке на грунт возникают деформации, протекающие во времени. Даже для песчаных и не полностью водонасыщенных глинистых грунтов сжатие под нагрузкой происходит не мгновенно, но в ряде случаев осуществляется сразу со скоростью приложения нагрузки.

Деформация сжатия названных грунтов обусловлена при обычных в строительстве нагрузках упругим сжатием частиц и газа. Для водонасыщения глин, особенно с нарушенными структурными связями, сжатие происходит при оттоке воды из пор грунта, скорость которого зависит от водопроницаемости грунта. Для правильного представления о скорости осадки сооружений пользуются данными консолидации грунтов. *Консолидация* дисперсных грунтов — это их уплотнение во времени под постоянной нагрузкой.

При действии вертикальной нагрузки происходит сжатие грунта и его расширение в стороны; при этом возникает давление, которое называют *боковым распором*. Боковое давление в условиях невоз-

Таблица 5.2

Категории грунта по сжимаемости	Модуль осадки, мм/м	Характеристика сжимаемости
0	<1	Практически несжимаемые
I	1 ... 5	Слабая
II	5 ... 20	Средняя
III	20 ... 60	Повышенная
IV	>60	Сильная

можности бокового перемещения частиц грунта составляет часть вертикального давления:

$$P_{\text{гор}} = \xi P_{\text{верт}},$$

где ξ — коэффициент бокового давления в состоянии покоя. Величина ξ зависит от состава и строения грунтов и изменяется у глин в пределах 0,5 ... 1, у песков — 0,3 ... 0,5.

Для расчета подпорных сооружений, ограждений и крепления откосов пользуются показателем, характеризующим боковое давление.

Минералогический состав дисперсных грунтов влияет на их деформационные свойства. Наличие в песках частиц слюды значительно увеличивает сжимаемость таких песков и величину обратимой деформации. Состав названных минералов в глинистых грунтах характеризуется размерами, формой и гидрофильностью частиц грунтов. Пористость глинистых грунтов возрастает, как и возможность уплотняться при действии внешней нагрузки, с увеличением дисперсности и гидрофильности глин. Таким образом наибольшей деформируемостью будут обладать монтмориллоновые глыны.

Сцепление. Сопротивление грунтов сдвигу является их важнейшим прочностным свойством, знание которого необходимо для решения инженерно-геологических задач. Под действием некоторой внешней нагрузки в определенных зонах грунта связи между частицами разрушаются и происходит смещение (сдвиг) одних частиц относительно других — грунт приобретает способность неограниченно деформироваться под данной нагрузкой. Разрушение грунта происходит в виде перемещения одной части массива относительно другой (оползание откоса, выпор грунта из-под сооружения).

Сопротивление грунтов сдвигу в определенном диапазоне давлений (десятых долей до целых единиц МПа) может быть выра-

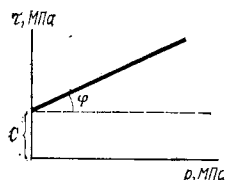


Рис. 5.3. Сопротивление грунтов сдвигу

Таблица 5.3

Зона литификации	Интервал глубины дна моря, м	Содержание частиц диаметром <0,005 мм, %	Естественная влажность, %	Пористость, %	Пластическая прочность, МПа	Предел прочности при одноосном сжатии, МПа	Характеристика физического состояния пород
I	1 ... 4	51 ... 69 61	41 ... 65 54	52 ... 65 61	0,009 ... 0,019 0,014	—	Текущие неуплотненные
II	4 ... 8	48 ... 57 53	26 ... 37 32	43 ... 49 47	0,028 ... 0,143 0,048	—	Переход от скрытотекучего, неуплотненного состояния к мягкопластичному и начальной стадии уплотнения
III	8 ... 80	36 ... 66 54	21 ... 32 29	38 ... 48 44	0,113 ... 0,545 0,269	—	Мягкопластичные малой или средней степени уплотнения
IV	80 ... 600	53 ... 80 67	17 ... 26 22	35 ... 43 39	0,8 ... 5 2,6	0,8 ... 3,5 1,9	Тугопластичные на грани перехода к сильноуплотненному состоянию
V	600 ... 1200	26 ... 81 63	8 ... 13 13	21 ... 33 28	—	2,7 ... 6,1 3,3	Полутвердые или твердые, сильно уплотненные

Примечание. В знаменателе даны средние значения характеристик.

жено линейной зависимостью, установленной К. Кулоном еще в 1773 г.:

$$\tau = p \operatorname{tg} \varphi + c,$$

где τ — предельное сдвигающее напряжение, Па; p — нормальное давление, Па; $\operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент внутреннего трения; φ — угол внутреннего трения; c — сцепление, Па.

Диаграмма сопротивления сдвигу глинистой породы приводится на рис. 5.3. Величины φ и c являются параметрами зависимости сопротивления грунтов сдвигу, которые необходимы для инженерных расчетов прочности и устойчивости массивов грунтов. Насколько важна правильная оценка сопротивления грунта сдвигу, показывает следующий пример.

Так, для Нурекской плотины (р. Вахш), имеющей объем около 60 млн. м³, изменение угла внутреннего трения галечника, слагающего упорные призмы, с 35 до 38°, т. е. всего на 8,5%, вызывает уменьшение объема плотины примерно на 4 млн. м³ грунта. С другой стороны, введение в расчет завышенных значений угла внутреннего трения и сцепления грунта может привести к значительным деформациям сооружения или полному его разрушению.

Минеральный состав песков и глин определяет характер сопротивления их сдвигу, а для глинистых грунтов характерно сопротивление одноосному сжатию и разрыву. Содержание в песках слюд, хлорита, талька и других минералов, характеризующихся низкими показателями трения, снижает сопротивление таких песков сдвигу. Наименьшее сопротивление сдвигу характерно для монтмориллонитовых глин по тем же обстоятельствам, которыми обуславливалась сжимаемость. Исключением, однако, будут глины, находящиеся в воздушно-сухом состоянии. Наибольшее сопротивление на одноосное сжатие и разрыв будет присуще тем же глинам благодаря дегидратации, обуславливающей образование в грунте максимума контактов, проявляющихся в ионно-электростатических структурных связях.

На основе изложенного можно заключить, что физико-механические свойства дисперсных грунтов во многом зависят от соотношения твердой и жидкой минеральных компонент. Весьма существенное значение на характер физико-механических свойств имеют и структурно-текстурные особенности дисперсных грунтов. Глинистые грунты обладают сопротивлением сжатию и на разрыв, песчаные этими свойствами не обладают (табл. 5.3).

5.2. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

При изучении скальных горных пород важно установить содержание в них породообразующих минералов. Наибольшее значение имеют минералы класса первичных силикатов — полевые шпаты, оливин, пироксены, амфиболы и др.; условно к ним относится кварц, у которого преобладают внутрикристаллические связи. Простые соли — карбонаты — сульфаты, галоиды — имеют ионный тип свя-

зей, которые существуют внутри самих минералов (атомов, ионов, радикалов). Свойства же минералов определяют свойства грунтов.

Наибольшее значение для скальных пород имеет трещиноватость. К скальным породам с кристаллизационными структурными связями относятся, главным образом, магматические и метаморфические. При пористости 1...5% эти породы могут характеризоваться трещинной системой объемом 10...20%. Очевидно, что водопроницаемость трещиноватых грунтов, термические и механические свойства определяются не столько их пористостью, как трещиноватостью. Трещины подразделяют на тонкие (<1 мм), мелкие (1...5 мм), средние (5...20 мм), крупные (20...100 мм), очень крупные (>100 мм). При изучении трещиноватости скальных пород следует определить генетический тип трещин, так как с этим связана их глубина, частота, протяженность и ширина.

Высокая прочность магматических и метаморфических грунтов объясняется наличием структурных кристаллизационных связей химической природы. Под воздействием факторов выветривания магматические грунты разрушаются, и если физическое выветривание превышает химическое и разрушение сводится в основном к дроблению грунтов, то при участии процессов денудации из наземных грунтов формируются крупнообломочные и песчаные породы со слабыми молекулярными, капиллярными и электростатическими структурными связями.

Так можно рассматривать прямые и косвенные характеристики физических свойств скальных грунтов. К этому можно добавить лишь о содержании в скальных грунтах водяного пара и воды и изменения в связи с этим состояния грунта в каждый конкретный момент и его физические свойства с учетом этого состояния. Следует заметить, что в случае, когда химическое выветривание преобладает над физическим, из названных грунтов формируются глинистые и лёссовые грунты с различными структурными связями.

Характерно, что скальные грунты образуются в виде карбонатных, сульфатных и галоидных как осадочных сцементированных конгломератов, песчаников, алевролитов и аргиллитов. Величина структурных связей у осадочных сцементированных и химических грунтов зависит от степени их литификации.

При характеристике деформационных свойств скальных грунтов принимается во внимание модуль деформации E , модуль упругости E_y и модуль общей деформации $E_{\text{общ}}$. Модуль упругости равен отношению напряжения τ при одноосном сжатии к относительной обрательной деформации ($e_{\text{обр}}$): $E_y = \tau / e_{\text{обр}}$.

Модуль общей деформации равен отношению напряжения при одноосном сжатии к общей относительной деформации $E_{\text{общ}} = \tau / e_{\text{общ}}$. Очевидно, что $E_{\text{общ}} < E_y$, поскольку $e_{\text{общ}} > e_{\text{обр}}$. Для упругодеформируемого материала модуль упругости равен модулю общей деформации и не зависит от напряжения, являясь величиной постоянной. Непостоянными показателями модуль упругости и модуль общей деформации характеризуются при определенной величине и продолжительности действия давления.

Модуль упругости и модуль общей деформации зависят от характера грунта и его структуры: для скальных пород отношение E_y к $E_{общ}$ равно ~ 2 . Показателем деформационных характеристик скальных грунтов служит также коэффициент Пуассона ν , показывающий, в какой мере происходит изменение объема грунта в процессе деформации. Коэффициент Пуассона представляет собственно характеристику упругой деформации. Эта характеристика породообразующих минералов изменяется в широком диапазоне от 0,08 до 0,34, что зависит от строения кристаллической решетки и направления напряжений относительно кристаллографических осей. Коэффициент Пуассона зависит от минералогического состава грунта, пористости и трещиноватости.

Показатели одноосного сжатия, характеризующие механические свойства скальных пород в массиве, приведены ниже:

<i>Породы</i>	<i>Сжатие, МПа</i>
Кристаллические сланцы	120...160
То же, водонасыщенные	36...48
Кварциты	>150...200
Очковые гнейсы	—
Зеленые сланцы (хлоритовые, хлорит-серицитовые, тальк-хлоритовые)	45...60
Сухие образцы зеленых сланцев	25...30
Глинистые сланцы (при водонасыщении разрушаются)	20...40
Роговики, мрамор	100
Мелкозернистые доломизированные мраморы	200 и более
Крупнозернистый сахаровидный мрамор	50...60
Базальты мелкокристаллические	до 500
Пористые базальты	<20
Долериты и диабазы	150...180
Габбро	40...300
Доломиты	220
Доломиты микротрещиноватые	50...60
Известковистые доломиты	80
Глинистые доломиты	60
Конгломераты на цементе:	
песчаном кварцевом (в воздушно-сухом состоянии)	до 100
известковом	50...60
глинистом	до 25
железистом	> 100
гипсовом	3...5
Окварцованные алевролиты и аргиллиты	100 и более
Кремнистые породы в сухом состоянии (опока, трепел)	70
В водонасыщенном состоянии	0,5...1,0
Известняки окварцованные	100...240
Известняки после испытания на морозостойкость	70
Кристаллические известняки:	
мелкозернистые	100
крупнозернистые	25...670
Мергели	7...30
Мел	1...17,5
Диатомиты в сухом состоянии	4...5
То же, в водонасыщенном	0,1...0,6

Класс	Скальные						Полускальные								
Краткая характеристика	С жесткими кристаллизационными и цементационными связями (прочность которых соизмерима с прочностью минеральных частиц)						С жесткими кристаллизационными и цементационными связями, ослабленными по сравнению со связями в скальных породах								
Группа	Магматические		Осадочные цементированные		Метаморфические		Магматические		Осадочные цементированные		Метаморфические				
Подгруппа	Интрузивные	Эффузивные	Обломочные	Химические	Биохимические	Контактово-метаморфизованные	Регионально-метаморфизованные	Интрузивные	Эффузивные	Механические цементированные	Химические	Органогенные	Контактные	Региональные	
Тип	Гранит, сиенит, диорит, габбро		Кварцевый порфир, липарит, трахит, порфирит, андезит, диабаз, базальт		Песчаники кремнистые, железистые, конгломераты и брекчи		Опоки, трепсела	Кремнистые известняки, доломиты, мела		Мрамор, роговики, скарны		Кристаллические сланцы, гнейс, кварцит, гранито-гнейсы		Выветрелые и сильно трещиноватые породы того же типа, что и скальные, а также указанные ниже породы	
Краткая характеристика инженерно-геологических свойств породы	Очень плотные (массивные); невлагоемкие; нерастворимые; водонепроницаемые по трещинам; высокой прочности при одноосном сжатии; практически несжимаемые (при отсутствии трещиноватости); изотропные или анизотропные		Плотные, иногда мелкопористые или массивные; невлагоемкие или слабо-влагоемкие; нерастворимы за исключением карбонатных (0,01 г/л), сульфатных (2—3 г/л), галонидных (300 г/л), водонепроницаемы по трещинам или слабо-(иногда средне-) водонепроницаемы; высокой или средней прочности при одноосном сжатии; прочные практически несжимаемые или слабосжимаемые; часто анизотропные		Пористые трахиты, базальты, вулканический туф		Брекчи, конгломераты и песчаники с глинистым цементом, аргиллиты, алевролиты		Гипс, каменная соль		Известняк, ракушечник, мел, мергель		Сланцы: глинистые, графитовые и тальковые		

В заключении раздела приведем составленную на основе многолетних исследований и переработки большого научного материала инженерно-геологическую классификацию горных пород (табл. 5.4).

Таблица 5.4

Нескальные				
Связные		Несвязные		Особого состояния
С водно-коллоидными и цементационными связями, прочность которых меньше прочности минеральных частиц		Сыпучие в сухом состоянии: со связями зацепления и цементационными весьма низкой прочности		Со связями различной природы и характера
Осадочные нецементированные				Осадочные сцементированные и нецементированные
Обломочные — пылеватые и глинистые		Обломочные		Обломочные биогенные
Глинистые: глины, суглинки, супеси	Пылеватые: лёсс, лёссовидные суглинки и супеси	Крупнообломочные: валунные, галечник, щебень	Песчаные: гравелистые, крупные, средней крупности, мелкие, пылеватые, глинистые	Вечномерзлые, засоленные почвы, торф, техногенные
Пористые и сильно пористые; влагоемкие и очень влагоемкие; нерастворимые; водоупорные или слабо водопроницаемые; низкой прочности по сопротивлению сдвигу; сжимаемые и сильносжимаемые; под воздействием нагрузки подвержены усадкам, набуханию, пучению		Пористые невлагеомкие, практически нерастворимые; водопроницаемые и сильно водопроницаемые; низкой прочности по сопротивлению сдвигу; слабосжимаемые при действии статических нагрузок и сильно уплотняемые при динамических воздействиях; подвержены разжижению; некоторые разности — плывуны		Отличаются широким диапазоном изменения физических, водных и механических свойств в зависимости от состава и состояния пород

Глава 6

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

6.1. ВЫВЕТРИВАНИЕ

К группе физико-химических относятся процессы механического, химического и термического разрушения и растворения горных пород чаще всего заключающихся в процессах механической и химической суффозии, водноколлоидных и молекулярных реакций, водо-

насыщения, миграции солей, пептизации, диспергирования коллоидов, коагуляции, флуотации и др. Рассмотрим здесь лишь те из названных процессов, которые вызывают наиболее существенные явления, привлекающие внимание строителя.

Физическое выветривание связано с механическими воздействиями на породы, возникающими вследствие температурных факторов, роста кристаллов, давления на породы утолщающихся корней деревьев и др.

Температурные воздействия обуславливают изменение объема породы, действуя как растягивающие и сжимающие напряжения. В результате указанных напряжений породы растрескиваются, особенно те из них, которые состоят из минералов, обладающих различными пределами значений объемного расширения. Естественно, что интенсивность разрушения породы находится в зависимости от амплитуды температурных колебаний; наибольшей величины они достигают в областях пустынь, где разница температуры днем и ночью достигает 40... 50°C. Влияние температуры на породы существенно связано с экспозицией выходов пород на дневную поверхность; например, оно в значительной мере больше на склонах, обращенных к солнечной стороне, на более высоких участках, где воздух прозрачнее и инсоляция интенсивнее. В пустынях выветривание выражено в явлении чешуйчатого шелушения (десквамации) пород.

В холодных областях Земли и в высоких горных районах можно наблюдать морозное выветривание, вызванное замерзанием воды в трещинах и порах пород. Явление морозного выветривания можно наблюдать в виде крупноглыбовых и щебенистых развалов и россыпей. В горных областях выше снеговой линии и в областях распространения многолетнемерзлых пород благодаря сезонному оттаиванию верхнего слоя каменные россыпи и развалы в горных ложбинах и балках приобретают подвижный характер в связи с насыщением водой и ледяным ложем. Такие каменные потоки называются *курумами*.

Процессы физического выветривания тесно связаны с региональными условиями, а также с химическим выветриванием.

Основными и активными факторами химического выветривания являются вода, свободный кислород, углекислый газ и органические кислоты. Активность воды в значительной мере зависит от температурных условий и, следовательно, по-разному проявляется в различных климатических зонах. Химическое выветривание горных пород зависит от реакций окисления, гидратации (поглощения воды), растворения и гидролиза.

Растворение горных пород представляет собой процесс, связанный с действием на них воды и углекислоты. Интенсивность этого процесса зависит от химического состава горных пород и химического состава воды. В процессе растворения породы водой происходит обменная реакция между твердой и жидкой фазами. Эти реакции подчиняются химическим законам. К наиболее растворимым породам относятся хлориды — соли хлористого натрия, калия и др.

Менее растворимыми являются сульфаты — гипсы, а менее всего растворимыми являются карбонаты — известняки, доломиты, мергели, мелы.

Подземные воды, движущиеся в породах, растворяют их и обогащаются солями до определенных пределов. Обогащение подземных вод солями в большой мере осуществляется за счет легкорастворимых пород, поэтому высокая минерализация свойственна хлоридным водам, которые могут содержать в воде значительное количество солей образования рассола. Сульфатные воды никогда не достигают такой степени минерализации, как хлоридные, а минерализация карбонатных вод всегда меньше сульфатных. При этом следует иметь в виду, что карбонатные воды при достижении предела насыщения карбонатами уже не могут растворять карбонатные породы, но могут растворять сульфатные и хлоридные породы. При полном насыщении воды сульфатными солями они не могут растворять сульфатные породы, но еще способны растворять хлоридные породы.

6.2. КАРСТ

Процесс растворения или выщелачивания горных пород поверхностными или подземными водами приводит к образованию на поверхности Земли западин, а в слоях земной коры — пустот, каналов и пещер. Все эти явления, обусловленные растворением пород, называются карстом (по названию известкового плато, расположенного около Триеста в Югославии).

Растворяются или выщелачиваются прежде всего растворимые породы, к которым относятся каменная соль, гипс, известняки, доломиты, мел и сильноизвестковистый мергель. Карстовые пустоты в каменной соли называют *соляным карстом*, в гипсах — *гипсовым карстом* и в известняках — *карбонатным карстом*.

Формы карста на поверхности Земли характеризуются самыми разнообразными очертаниями — канавками, бороздами, щелями глубиной от нескольких сантиметров до метра. Все эти формы носят название *карров*, часто распространенных на больших площадях, называемых *карровыми полями*. Среди карров находятся и глубокие щели, по которым поверхностная вода отводится в бассейны подземных вод. Такие щели носят название *поноров*. Наиболее характерная форма карстовых явлений — *карстовые воронки*. Размеры их достигают в поперечнике от 1 до 100 м, а глубина от 1 до 20 м. Карстовые воронки, по-видимому, образуются за счет расширения поноров.

К явлениям, представленным наиболее крупными карстовыми формами, относятся карстовые котлованы и поля, шахты и пропасти, карстовые колодцы и пещеры. Росту карстовых форм способствуют эрозионные процессы, процессы, вызывающие обрушение и обвалы сводовых частей пещер, шахт и пропастей, химическая и механическая суффозия, современная тектоника, горное давление и др.

Таким образом, одновременно с основным процессом растворения, т. е. собственно карстовым, протекают вспомогательные процессы. Часто наблюдается исчезновение рек и озер, связанное с широким развитием в земной коре крупных карстовых форм. Например, в Башкирии на р. Белой вода на отдельных участках исчезает и вновь появляется ниже по течению. Известно исчезновение карстовых озер в Ленинградской, Ивановской и других областях РСФСР.

Формирование крупных карстовых форм начинается с поступления воды в трещины массивных или слоистых пород, где движение воды размывает породы и вырабатывает свободные полости. После этого процессы растворения уступают место процессам эрозии.

Подземные реки иногда с большими расходами и большими скоростями производят такую же работу, как и поверхностные водотоки. В результате образуются огромные пещеры. В СССР известны Кунгурские пещеры на Урале, пещеры в Крыму (Крымские Яйла) и на Кавказе (Гагра, Сухуми). В США пещеры Мамонтова и Карлобадская, в Югославии Постойна-Яма, в Чехословакии Мацоха. При строительстве Гуматской ГЭС в Грузинской ССР была обнаружена пещера длиной в несколько километров.

Размыв горных пород подземными водотоками приводит к образованию провалов в форме шахт крупного сечения (провал на горе Машук на Северном Кавказе, в Пятигорске) и пропастей, когда провалы охватывают длинную полосу пород над подземными реками. Вода, содержащая углекислоту (CO_2), движется по трещинам и крупным тектоническим разрывам, растворяет известняки и насыщается бикарбонатом кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. При выходе из трещин часть углекислоты выделяется, в связи с чем бикарбонат переходит в карбонат кальция (CaCO_3), образуя в карстовых пустотах натечные формы известняка в виде сталактитов, свешивающихся с потолка пещер. На дне пещер капли воды, стекающие со сталактитов, приносят соли карбоната кальция, благодаря чему навстречу сталактитам поднимаются сталагмиты. Когда сталагмиты и сталактиты соединяются, то образуются колонны, как бы поддерживающие своды пещеры.

Подземные карстовые воды, выходя на поверхность, выделяют находящиеся в них соли, отложение которых создает иногда целые горы из известкового туфа, или так называемого травертина.

В карстовых пустотах часто обнаруживается заполнитель — материал, принесенный извне, например песок, глина или продукты разрушения окружающих пород. При бурении в толще доломитов часто обнаруживаются линзы доломитовой муки, заполняющие карстовые пустоты.

Движение подземных вод в карстующихся породах является фактором образования особого генетического типа отложений. Схема генетической классификации отложений, формирующихся в подземных карстовых пустотах (субтерральные отложения), приведена в табл. 6.1.

По степени растворимости (при равных скоростях движения и объему протекающей в породах воды) породы подразделяют на три группы: карбонаты — слабо растворимые; гипсы и ангидриты — хорошо растворимые и галоиды — сильно растворимые.

Основную роль в развитии карста играет количество и скорость движения воды. Если бы вода в подземных условиях находилась в застойном положении, то она, достигнув насыщения солями, уже не способна была бы к растворению пород. Поступление новых пор-

Таблица 6.1

Отложения	Зона аэрации	Зона ниже уровня подземных вод	Отложения	Зона аэрации	Зона ниже уровня подземных вод
Остаточные образования — доломитовая мука	+	+	Хемотропные отложения — натечные образования	+	—
Обвальные накопления — продукты обрушения сводов крупных карстовых полостей	+	+	Отложения из водных растворов ниже уровня подземных вод	—	+
Аккумулятивные механические осадки — пещерный аллювий	+	—	Органогенные отложения — гуано, костяные брекчии, пещерные фосфориты	+	—
Отложения пещерных озер	+	—	Антропогенные отложения — пещерный культурный слой	+	—

ций незасоленной воды является неперенным фактором растворения, обуславливая процесс карстообразования. Д. С. Соколов выделяет из толщи растворимых пород четыре зоны, следующие сверху вниз: I — зона аэрации, где происходит преимущественно вертикальная фильтрация, приводящая к формированию вертикальных карстовых каналов; II — зона сезонного колебания уровня подземных вод: здесь в периоды подъема уровня воды она фильтруется в горизонтальном и вертикальном направлениях, обуславливая тем самым развитие вертикальных и горизонтальных полостей в растворимой породе; III — зона полного насыщения, находящаяся в сфере дренирующего влияния гидрографической сети: подземные воды движутся в стороны долин, а зона, где происходит движение воды, захватывает подрусловый поток и сферу разгрузки подземных вод, такой характер движения подземных вод определяет развитие карста в дне долин и мощность зоны интенсивного развития карста; IV — зона глубинной циркуляции, где движение воды происходит вне непосредственного дренирующего воздействия гидрографической сети и обусловлено тектонической структурой и от-

дельными очагами разгрузки. Выщелачивание пород в этой зоне происходит медленно.

Из предложенной Д. С. Соколовым схемы распределения условий движения подземных вод следует, что базисом эрозии породы для подземных вод (дренируемой долиной) является уровень реки и что процессы карстообразования подчинены вертикальной зональности.

Представим теперь, что участок речной долины, характеризующийся всеми указанными выше зонами, поднимается или опускается в результате вертикальных тектонических движений. В первом случае базис эрозии будет уменьшаться, что приведет к понижению воды в I зоне. Зона эта может, таким образом, сместиться в слой, к которым приурочена была II зона, а II зона сместится в слой III зоны. Во втором случае базис эрозии будет повышаться и соответственно будут смещаться нижние зоны подземных вод в верхние.

Рассматривая карстообразование в указанных динамических условиях, можно заключить, что отдельные фазы каждой зоны представляют длительный геологический процесс, протекающий во времени одного эрозионного цикла — размыва и аккумуляции. Такое заключение вполне закономерно, так как механизм карстообразования является следствием движения подземных вод, а характер движения воды в бортах речных долин (расход и скорость) зависит от условий дренирования. Вообще карст может быть молодым, получившим свое развитие в недавнее время, и развивающимся в настоящее время, и карст погребенный, приуроченный к горным породам, лежащим ниже современного базиса коррозии.

В имеющейся литературе приводятся различные предложения о методах оценки скорости карстового процесса. Так, Н. В. Родионов, обобщая материалы ряда работ, приводит следующую оценку скорости образования трещин за столетний период: по лабораторным данным (Ф. Ф. Лантев) — 3,4 см, по наблюдениям за растворением речными водами (Фринк) — 5 см, по наблюдениям за скоростью растворения известняков в основании плотин (Фринк) — до 50 см.

6.3. ПРОСАДОЧНОСТЬ

Дополнительные деформации грунтов, находящихся в напряженном состоянии от действия переданного на них давления (нагрузки) или собственной массы грунта, проявляющиеся под воздействием дополнительных факторов, называются *просадкой*.

К просадочным грунтам относятся: лёссы и лёссовидные суглинки, обнаруживающие свои просадочные свойства при замачивании; мерзлые грунты, имеющие отрицательную или нулевую температуру, в которых хотя бы часть воды находится в мерзлом состоянии; оттаивание таких грунтов приводит к просадке; песчаные водонасыщенные рыхлые грунты, проявляющие просадочность при встряхивании.

Лёссовые грунты отличаются от других грунтов такого же гранулометрического состава внешними признаками: видимая невооруженным глазом пористость (вертикальные каналы); значи-

тельное содержание пылеватых частиц — 0,05 ... 0,005 мм; агрегатное строение частиц и значительная однородность гранулометрического состава; значительная карбонатность (известковые журавчики, вскипающие от действия HCl); быстрое размокание в воде, сопровождающееся выделением воздуха.

Гипотезы происхождения просадочности различны. Одни ученые полагают, что причиной просадочности является природное недоуплотнение, другие — приписывают просадочность растворению и выносу солей; некоторые причину просадочности видят в процессах коагуляции, пептизации частиц и агрегатов скелета грунта.

Первая группа гипотез подразделяется на различные оценки воздействия воды на грунт. Считают, что просадка может возникнуть вследствие увеличения влажности грунта. Проф. Н. Я. Денисов утверждал, что просадочная деформация проявляется в результате расклинивающего действия тонких слоев молекулярной воды и, следовательно, возникновение и развитие просадочных деформаций может происходить лишь в узком интервале влажностей, близких к максимальной молекулярной влагоемкости. Существуют и другие мнения, а именно, что просадочные явления происходят при влажности выше молекулярной влагоемкости. Кроме того, расклинивающее действие пленок воды наблюдается не только в лёссовых грунтах, но и в любых сухих глинистых грунтах, характеризуя лишь начальный момент изменения сил сцепления грунта. Вторая группа гипотез базируется на растворении и выносе солей, на размягчении солей, являющихся цементом. Это положение содержит различные трактовки общей идеи.

Одни считают, что соли представлены в виде твердых частиц, другие — что соли являются цементом.

По капиллярной теории Терцаги прочносвязанная вода расположена на ребрах кристаллов у пород. Но капиллярная теория, как будто хорошо объяснявшая просадочные деформации, была развеяна вследствие недоучета ею следующих обстоятельств: просадки проявляются немедленно после замачивания лёссов; просадки проявляются через продолжительное время после замачивания; просадки проявляются в течение продолжительного времени, возрастая медленно; просадки проявляются в виде процесса внутреннего размыва и суффозии в лёссах и глинах. Только первое из этих условий удовлетворяет капиллярной теории.

Относительная просадочность $s = (h - h_1)/h_0$, где h — высота образца породы природного сложения и влажности обжатого в условиях невозможности бокового расширения давлением от собственной массы грунта и нагрузки от сооружения; h_1 — высота того же образца породы после пропускания через него воды при том же давлении; h_0 — высота образца природной влажности при природном давлении.

В зависимости от значения s породы разделяют: на обладающие просадочными свойствами, если $s > 0,01$; практически не обладающие просадочностью, если $s < 0,01$.

Следует иметь в виду, что просадочная зона в лёссовых породах составляет обычно 8 ... 10 м, а иногда 20 ... 25 м от поверхности Земли, поэтому и относительная просадочность должна относиться не ко всей толще лёссовых пород, которая может достигать 30 ... 40 м, а только к верхней ее части.

Характерными критериями просадочности служат плотность и пористость лёссовых пород. Значения плотности находятся в пределах $1,7 \text{ г/см}^3$, а пористость — 0,8. Эти показатели относятся к верх-

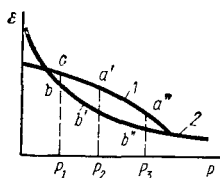


Рис. 6.1. Кривые уплотнения лёссовой породы при естественной влажности и при полном водонасыщении

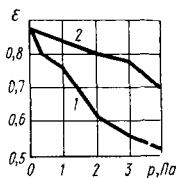


Рис. 6.2. Кривые уплотнения лёссовой породы при естественной влажности 2 и предварительно замоченной лёссовой породы 1

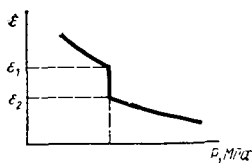


Рис. 6.3. Кривая уплотнения лёссовой породы

ней границе. В лабораторных условиях основным методом определения просадочности лёссовых пород являются испытания в компрессионном приборе, в полевой обстановке — испытания штампами.

Кривые уплотнения лёссовой породы при естественной влажности 1 и полном водонасыщении 2 отвечают следующим показателям (рис. 6.1). Первая кривая имеет выпуклую форму, что свидетельствует о значительном уплотнении породы при больших давлениях (крутой конечный участок кривой). Вторая кривая имеет вогнутую форму, что свидетельствует о значительном уплотнении породы при небольших давлениях (крутой начальный участок кривой). В первом случае связи сохраняют значительную прочность и разрушаются только под воздействием растущих напряжений, во втором случае связи заметно теряют свою прочность под влиянием замачивания лёссовой породы водой. Расхождение кривых 1 и 2 указывает на различие в степени уплотнения породы при естественной влажности и при замачивании водой и может служить мерой просадочности лёссовой породы. Метод двух кривых показывает, что значение просадочности лёссовых пород не является постоянным, а зависит от сжимающего давления. Метод двух кривых позволяет определить просадочность для любых значений давлений в выбранном интервале (рис. 6.2).

Существует и метод одной кривой, когда испытанию подвергается один образец породы и замачивание производится при определенной, заранее намеченной нагрузке (рис. 6.3). Считают, что метод одной кривой более точно отражает реальное поведение породы в

условиях работы сооружения. В настоящее время рекомендуют при лабораторных испытаниях просадочности давать нагрузку на образец не меньшую, чем должна быть нагрузка от массы сооружения и массы вышележащего грунта, насыщенного водой.

Метод полевых исследований просадочности штампами является более точным, чем лабораторный метод. Просадочность штампами определяется при замачивании испытуемых пород под нагрузкой, равной нагрузке от массы сооружения и массы вышележащей породы.

В качестве инженерных мероприятий по борьбе с просадочностью можно назвать: конструктивные решения, предотвращающие здания, сооружения и строения от разрушения при просадках; возведение защитных устройств, предотвращающих замачивание лёссовых пород атмосферными, подземными, бытовыми и производственными водами; искусственное закрепление грунтов — силикатизация, обжиг и др.; удаление, где это возможно, просадочных пород в основании сооружений.

Мероприятия по борьбе с просадочностью могут позволить возводить на лёссовых породах большие плотины и различные другие тяжелые сооружения. В настоящее время, особенно в гидротехническом строительстве, большое распространение получило предпостроечное замачивание лёссовых пород с целью ликвидации их просадочности.

Глава 7

БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

7.1. ПОЧВЫ И ТОРФЯНИКИ

Основными факторами органического выветривания являются микроорганизмы и растения. Они способствуют химическим процессам выветривания, поглощая из горных пород различные элементы — питательные вещества. Одновременно в результате фотосинтеза микроорганизмы и растения выделяют кислород и различные кислоты, в том числе гуминовые, активизирующие процессы растворения и гидролиза. Таким образом, как уже отмечалось выше, химические процессы выветривания горных пород тесно связаны с физическими. Верхняя часть коры представлена почвой, которая образуется в результате выветривания горных пород и биохимических процессов. Находящаяся в почве масса органического вещества разлагается в связи с жизнедеятельностью микроорганизмов. При неполном разложении (при недостаточности кислорода) органической массы образуется так называемый перегной, или гумус. В состав гумуса входят гуминовые кислоты (растворимые) и гумин (нерастворимый в щелочах) — высокомолекулярные соединения. Кроме того, в состав гумуса входят белки, углеводы, жиры, смолы и органические кислоты.

Встречаются различные типы почв. В пределах территории СССР прослеживается горизонтальная — широтная зональность почв. Вдоль побережья Северного Ледовитого океана узкой полосой протягиваются почвы тундры и лесотундры. Они бедны гумусом (до 3%); он обычно кислый, полуторфянистый. Мощность слоя почвы 20...30 см. Этот тип почвы сменяется подзолистой почвой, широко распространенной и занимающей около 50% территории СССР. Большое количество атмосферных осадков на указанной территории способствует распаду органического вещества и минеральной составляющей названных почв. Гумуса в них содержится до 4%, и почва имеет серую окраску. Для плодородия почв требуются органические и минеральные удобрения.

Далее к югу распространены серые лесные почвы; они встречаются в лесостепной полосе СССР, охватывающей всю область от Волыно-Подольской и Приднепровской возвышенностей до Высокого Заволжья, и уже более богаты гумусом и более плодородны. Еще южнее распространены черноземные лугово-степные почвы. Они отличаются большим содержанием гумуса (до 25%), большой мощностью, имеют черную окраску.

Черноземные почвы сменяются в зоне континентального жаркого и сухого климата каштановыми и бурыми почвами, расположенными в сухих степях, в них содержится от 3 до 5% гумуса. Далее в областях полупустынь и пустынь формируются сероземы — почвы сухого климата с редким растительным покровом. Этим и объясняется малое содержание в них перегноя (1...1,6%) и светло-серая окраска.

В зонах сухих степей и пустынь распространены засоленные почвы — солонцы и солончаки. Они встречаются среди сероземов и каштановых бурых почв. Образование засоленных почв связано с испарением поверхностных и грунтовых вод.

Наконец, имеются почвы красноземные и желтоземные, распространенные в зонах влажных субтропиков, например на Черноморском побережье Кавказа и в Крыму. В этих почвах в большом количестве находятся полуторные оксиды железа и алюминия. Образование красноземных и желтоземных почв связано с интенсивными процессами выветривания.

Помимо горизонтальной зональности в смене почв наблюдается также и вертикальная зональность почв в горных областях, так как условия почвообразования тесно связаны с климатическими факторами (температурой, влажностью), а для горных районов последовательная смена этих факторов по вертикали выражена вполне отчетливо.

7.2. БИОХИМИЧЕСКИЕ ПЛЫВУНЫ

Исследованиями В. В. Радной доказано, что микроорганизмы активно воздействуют на минеральный состав пород, на дисперсность минеральных агрегатов и, таким образом, изменяют структуру породы и ее напряженное состояние. Указанные изменения в

породах, вызванные воздействием микроорганизмов, нередко служат причиной возникновения оползней, разуплотнения пород и образования плывунов.

Образование плывунов объясняется тем, что в водонасыщенной дисперсной породе происходит накопление высокостабилизированных коллоидов и одновременно накопление газов — продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, вследствие чего возникает избыточное поровое давление, способствующее подвижности породы. Сам процесс накопления газа в породе может происходить за счет таких факторов, как отжатие воды из ее пор, увеличения объема породы, повышение давления газа в защемленных пузырьках и увеличение количества растворенного в поровой воде газа.

Микроорганизмы были обнаружены в истинных плывунах, причем было установлено, что биологическое выветривание происходит в толще пород на глубине 50 м. Опыты по воспроизведению свойств истинного плывуна были поставлены с мелкозернистыми кварцевыми песками, имевшими в своем составе калиевые алюмосиликаты. Посевы колоний микроорганизмов в стерильных песках показали, что через три месяца в песке появились пузырьки газа и пески приобретали характерные свойства истинного плывуна. Спустя 5...8 лет отмечалось отчетливо выраженная корродированность песчаных зерен; они приобретали связность и слипались при высыхании за счет появления полеватых частиц. Таким образом, жизнедеятельность микроорганизмов обусловила образование коллоидной составляющей и вместе с тем значительное снижение внутреннего трения в породе и соответственно увеличение ее подвижности. При уничтожении микроорганизмов антисептиками порода теряла подвижность и свойства, присущие плыуну.

Глава 8

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

8.1. ОПОЛЗНИ

В результате гравитационных геологических процессов, обусловленных силой тяжести — силой земного притяжения, происходит либо отрыв, либо скалывание, либо пластическое течение пород в горных массивах. *Оползни* представляют собой смещение на более низкий уровень части горных пород, слагающих склон, под действием силы тяжести и при участии поверхностных или подземных вод. В этом механизме разрывных и пластических деформаций действуют: вес породы, всегда стремящийся сместиться вниз при отсутствии равнозначной удерживающей силы; нагрузка, которую испытывают нижележащие породы от веса вышележащих; разгрузка остаточного напряженного состояния пород; резкие перепады градиентов напряжений в породах в подошве склона и в его вер-

ней части, а также в приповерхностной (разгруженной) зоне и в глубине склонов (где влияние разгрузки не сказывается).

Само проявление гравитационных процессов конкретизируется в форме разного рода смещений пород на склонах, откосах искусственных выемок, в пещерах, горных выработках — шахтах, туннелях, подземных рудничных выломок. Смещения могут носить характер оползней, обвалов, осыпей, осовов, оплывин, лавин, сдвижений и др. Характер перечисленных гравитационных смещений зависит от многих факторов. Прежде всего, при прочих равных условиях,

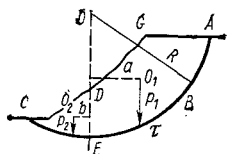


Рис. 8.1. Схема
оползания косо-
гора

устойчивость каждого склона зависит от его высоты, крутизны и формы. В каждом отдельном случае эти особенности следует рассматривать в сочетании с геологической структурой местности: представлена ли она слоистыми или неслоистыми породами, каков литологический состав пород, частота расположения трещин, совпадение наклона слоев с уклоном поверхности склона или плоскости скольжения и т. п.

Устойчивость склона в значительной мере зависит и от характера циркуляции в его массиве подземных вод. Часто действие подземных вод является весьма существенным фактором смещения земляных масс на склоне.

Изучению гравитационных смещений и в наибольшей мере оползней уделяется большое внимание, так как они могут нанести большой ущерб различным строениям и, в частности, железным и шоссейным дорогам. Оползни развиты в СССР в Крыму, на Кавказе, в Поволжье, в бассейнах рек Камы, Днепра и Оки, в горных районах Средней Азии, в Сибири и др. В каждой из указанных областей оползневые явления характеризуются своими региональными особенностями. В них отражены условия залегания пород, их литологический состав и климатические факторы. Соответственно региональным и другим особенностям оползневых явлений существуют и различные их классификации. Перед рассмотрением этих классификаций остановимся сначала на общей схеме механизма оползнеобразования.

Предположим, что породы, составляющие часть естественного склона, находятся в состоянии предельного равновесия, и смещение пород происходит по кругоцилиндрической поверхности ($ABEC$), представляющей часть окружности, описанной радиусом R из точки O (рис. 8.1). Допустим при этом, что сопротивление породы сдвигу находится только в зависимости от величины сцепления и задача решается как плоская. Допустим также, что оползневые массы скользят без нарушения их цельности и сопротивление сдвигу по всей поверхности скольжения одинаково. Проведем через точку O прямую OE , рассекающую оползень на две части. При этом справа будет находиться соскальзывающая, или активная, часть оползня, а слева — выталкиваемая, или пассивная, часть.

На оползающий массив действуют следующие силы: P_1 — вес массива, заключенного в границах $DGABE$ (центр тяжести этой фигуры — O_1); P_2 — вес массива DEC (центр тяжести этой фигуры — O_2); τ — сопротивление сдвигу на единицу поверхности скольжения породы, определяемое только силами сцепления; $\sum \tau R$ — сопротивление сдвигу по всей поверхности скольжения $ABEC$.

В уравнении моментов сил положительными будут моменты, вращающие систему в направлении движения часовой стрелки, и отрицательными — моменты, вращающие систему в обратном направлении:

$$P_1 a - P_2 b - \sum \tau R = 0,$$

где a — плечо силы P_1 относительно точки O_1 ; b — плечо силы P_2 относительно точки O_2 .

Приведенное уравнение определяет состояние предельного равновесия. Очевидно, что при изменении величины какого-либо из членов этого уравнения в левой части знак равенства надо будет заменить на знак «больше» или «меньше». Если знак этот будет «больше», то соотношение моментов сил будет показывать на потерю массивом устойчивости, т. е. на оползание. При знаке «меньше» устойчивость массива будет больше. Отсюда следует, что увеличение нагрузки на участке правой части оползня, т. е. на поверхности участка $AGDEB$, приведет к оползанию склона. Наоборот, увеличение нагрузки на поверхности участка DEC будет повышать устойчивость склона, т. е. при этом возрастает значение момента силы $P_2 b$, препятствующей оползанию.

Нарушение предельного состояния равновесия может наступить в связи с увеличением массы активной части оползня, вызванным изменением влажности слагающих его пород. Если влажность пород увеличится, то возрастет и их масса, сила сцепления в породе уменьшится, а следовательно, уменьшится и момент сил $\sum \tau R$, препятствующих оползанию. При осушении склона, наоборот, силы сцепления увеличатся, устойчивость склона повысится.

Таким образом, в механизме оползания действуют два момента: вращающий и удерживающий. Нарушение равновесия может быть вызвано перегрузкой верхней активной части склона вследствие застройки ее, сброса отвалов земли, естественных обвалов и осыпей или, наконец, увлажнения пород дождевыми, талыми, поливными и другими попадающими и задерживающимися на склоне водами.

Нагружение на нижнюю часть (пассивную) оползня увеличивает его устойчивость, но разгрузка в этой части имеет такое же значение, как и перегрузка верхней. Например, движение оползня может произойти вследствие подмыва подошвы склона рекой или морем.

При откосах, сложенных пластическими породами, сопротивление сдвигу определяется лишь их связностью $\sum \omega$; удерживающий момент равен $\sum \omega LR$. При этом коэффициент запаса устойчивости

определяется отношением удерживающего момента к вращающему:

$$k_{\text{3a11}} = \sum wLR/(Pa).$$

Считается, что склон может быть устойчивым при коэффициенте запаса 1,25 ... 1,5.

Мы рассмотрели схему механизма оползания, в которой принимали во внимание только силы сцепления. Но при сдвиге склонов, состоящих из песков, суглинков, тощих глин и других пород, участвует не только сцепление, но и трение, и таким образом механизм оползания имеет более сложную схему.

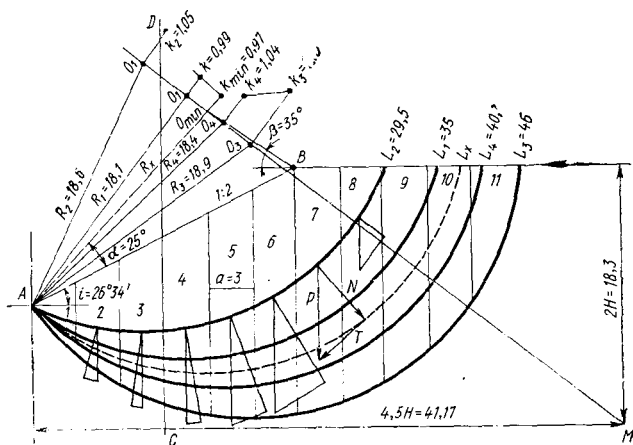


Рис. 8.2. К расчету откоса методом круглоцилиндрической поверхности скольжения

Расчеты с учетом сил трения производят следующим образом. Массив оползающих пород расчленяют вертикальными плоскостями на ряд призм (рис. 8.2). Из центра вращения O проводят радиусы к точкам $в, г, д, е$, находящимся в середине дуг, ограничивающих призмы по кривой скольжения. Затем из этих точек откладывают значения силы тяжести для соответствующих призм — p_1, p_2, p_3, p_4 ; $P = V\rho$, где V — объем призмы, $м^3$; ρ — плотность породы.

Силы тяжести раскладывают на силы $N_1, N_2, N_3, N_4, \dots, N_n$, нормальные к поверхности скольжения, и силы $T_1, T_2, T_3, T_4, \dots, T_n$, касательные к этой поверхности. Условия равновесия в точках $в, г, д, е$ определяются уравнением

$$T = N \operatorname{tg} \varphi + c,$$

где T — сила, сдвигающая массив; N — нормальное давление; φ — угол внутреннего трения; c — сила сцепления.

Определяем длину оснований призм ($l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n = L$), нормальные силы N_1, N_2, N_3, N_4 и сдвигающие силы T_1, T_2, T_3, T_4 ,

устанавливаем в лаборатории значение угла внутреннего трения φ и силы сцепления c . Уравнение предельного равновесия для склона

$$\sum T = \sum N \operatorname{tg} \varphi + \sum cL.$$

Устойчивость склона определится коэффициентом запаса устойчивости

$$K = \frac{\sum N \operatorname{tg} \varphi + \sum cL}{\sum T}.$$

В практической работе эта простая схема решения усложняется целым рядом факторов. Во-первых, чтобы определить P , необходимо иметь данные об очертании склона, о составе всех слагающих

Таблица 8.1

Откос		Углы, град	
заложение	угол заложения	α	β
1 : 0,58	60°	29	40
1 : 1	45°	28	37
1 : 1,5	33°47'	26	35
1 : 1 и положе	26°34' и положе	25	35

его пород, об их плотности, уровне грунтовых вод в склоне для установления взвешивающего эффекта этих вод и гидродинамического давления. Во-вторых, осложнение заключается в неопределенности положения центра вращения, что затрудняет отыскание графо-аналитическим способом такой круглоцилиндрической поверхности скольжения, при которой его устойчивость обеспечивалась бы при минимальном коэффициенте запаса, т. е. наиболее опасной поверхности скольжения.

Профессор Н. Н. Маслов описывает в учебниках пример оценки устойчивости откоса, который может быть использован в практической работе. В этом примере высота откоса принимается равной $H=9,15$ м, угол внутреннего трения породы $\varphi=6^\circ$, сцепление $c=20$ кПа, плотность породы $\rho=1920$ кг/м³. Положение первого в расчете центра вращения O_1 , а следовательно, и радиуса R_1 находится в точке пересечения прямых линий, проведенных из точки A под углом α к поверхности склона и из точки B под углом β к горизонту (см. рис. 8.2). Углы α и β принимаются в зависимости от угла заложения откоса (табл. 8.1).

Далее на горизонтальной линии, проведенной ниже бровки откоса на две его высоты ($9,15 \cdot 2=18,3$ м) и на расстоянии 4,5 высоты откоса ($9,15 \cdot 4,5=41,75$ м) от наиболее низкой точки подошвы откоса A , наносится точка M . Соединив эту точку с центром вращения O_1 прямой и продолжив ее влево до центра вращения O_2 , про-

изводят расчет для окружности, соответствующей O_2 . Затем на указанной прямой наносят точки O_3 и O_4 и производят расчет соответствующих окружностей. Коэффициент запаса устойчивости (k_1 , k_2 , k_3 и k_4) определяется по формуле

$$k_{\text{зан}} = \frac{\sum (P_1 \cos \alpha_1 \operatorname{tg} \varphi + c_1 l_1)}{\sum P_1 \sin \alpha_1}.$$

В случае необходимости учета устойчивости склона, в какой-то своей части погруженного в воду (река, озеро, море, искусственное водохранилище) или нагруженного выстроенными на нем сооружениями, расчет производят по формуле

$$k_{\text{зан}} = \frac{\sum [(P_1 \cos \alpha + G \cos \alpha_c) \operatorname{tg} \varphi + c_1 l_1] R_1}{\sum P_1 \sin \alpha R + G_c + Fa},$$

где G — вес сооружения; a — плечо действия веса относительно центра O_1 ; F — горизонтальная сила, действующая на сооружение (с плечом a относительно O_1); α — угол наклона касательной к поверхности скольжения в точке действия G .

Для рассматриваемого случая коэффициент запаса устойчивости, например, k_2 , т. е. устойчивость относительно центра вращения O_2 , когда кривая скольжения равна дуге круга длиной $L=29,5$ м и соответственно радиусу круга $R=18,6$ м, может быть рассчитан следующим образом:

$$k_2 = (245 \cdot 0,105 + 2 \cdot 29,5) / 80 = 84,2 / 80 = 1,05.$$

По полученным результатам расчетов находят минимальное значение коэффициента устойчивости, отвечающее ему положение точки центра вращения. В описанном примере минимальный коэффициент запаса устойчивости склона оказался равным 0,97. Это позволяет заключить, что в данных условиях при откосе 1 : 2 устойчивость склона не является обеспеченной.

Многочисленные классификации оползней можно подразделить на частные, общие и региональные. Первые учитывают один-два признака, вторые — ряд признаков, а третьи — построены с учетом местных условий образования и развития оползней.

А. П. Павлов классифицировал оползни по одному признаку, показывающему, являются ли они следствием соскальзывания или же возникают в результате сталкивания пород в нижележащей части склона вышележащими. Соответственно первые он назвал деляписивными, а вторые — детрузивными.

Ф. П. Саваренский положил в основу своей классификации оползней два признака: строение оползня (структурные условия) и положение поверхности скольжения относительно слагающих склон пород. Соответственно он разделил оползни на асеквентные, консеквентные и инсеквентные. Асеквентными автор назвал оползни, тело которых состоит из однородных пород. Поверхность скольжения этих оползней циклоидальная или цилиндрическая. Эти

оползни можно назвать оползнями, не секущими поверхности напластования. Консеквентными оползнями в классификации названы такие, скольжение которых происходит по поверхности, представляющей собой либо плоскость раздела между двумя слоями, например жесткого песчаника и пластичной глины, либо пластовую трещину в однородных породах, либо поверхность коренных пород, скрытую под толщей покровных образований. Эти оползни можно назвать оползнями, совпадающими со структурными поверхностями.

Инсеквентными оползнями названы такие, поверхности скольжения которых секут слои пород в горном массиве; оползни эти можно назвать секущими напластования.

И. В. Попов классифицирует оползни *по их возрасту и формам развития*, выделяя современные и древние оползни. Современные — это оползни, образовавшиеся при современном базисе эрозии и уровне абразии: движущиеся, приостановившиеся, остановившиеся и закончившиеся. Древние — это оползни, образовавшиеся при ином базисе эрозии и уровне абразии: открытые (ничего кроме почвы и элювия на поверхности не имеют) и погребенные (перекрытые позднейшими отложениями).

Е. П. Емельянова классифицирует оползни по их морфологии как по комплексному признаку, отражающему условия их образования, глубину захвата склона и механизм смещения. Е. П. Емельяновой выделены циркообразные оползни: оползни фронтального типа — вытянутые вдоль склона; оползни глетчерообразные — вытянутые по склону, оползни с суженной горловиной; оползни ложкообразные, характеризующиеся наличием оползневого цирка в верхней части склона, глетчеровидного грунтового потока в нижней; оплывины эллипсоидальной, грушевидной или каплевидной формы, не достигающие до основания склона; оползни угловатых очертаний; оползни без ясных границ; оползни сложные, образовавшиеся за счет разрастания и сочетания более простых форм.

Н. В. Родионов классифицирует оползни *по признакам потери устойчивости*, деля их на консистентные, когда оползание обуславливается изменением консистенции пород при насыщении их водой, например при переходе глинистых пород в пластичное состояние; суффозионные — в результате выноса водой мелких частиц или солей происходит разрыхление породы; структурные — смещение склона обусловлено характером плоскостей, напластования или трещинами в массиве, наклоненными вниз по склону. Н. В. Родионов выделяет и промежуточные типы оползней: консистентно-структурные, суффозионно-консистентные, суффозионно-структурные и консистентно-суффозионно-структурные.

Из приведенных классификаций следует, что под оползнями в общем смысле понимают смещения земляных масс по склону, причем различной морфологии, строения и динамики; земляные массы могут представлять и однородные тела, например глину или гранит, и породы, состоящие, например, из чередования различных пород — известняков, песчаников, глин и др. Оползни возникают вследствие

действия силы тяжести, но силе этой, как уже говорилось выше, в природе способствуют многочисленные факторы. Таким существенным фактором является вода, которая, заполняя поры породы, увеличивает ее вес и, следовательно, значения моментов сил, способствующих оползанию. Движение воды в породе может приводить к механической или химической суффозии, что также может обуславливать неустойчивость пород на склоне. Наконец, вода, движущаяся в породах, может оказывать гидродинамическое давление на породы, что приводит к их размягчению, выпору и выдавливанию.

Однако относить оползневые процессы к деятельности только подземных вод неверно. Огромные по своей протяженности оползни в Дагестане, состоящие из известняков с тонкими прослойками глин, возникли без всякого участия воды (известняки безводны), только вследствие силы тяжести — смещения к глубоким эрозионным ущельям. Возможно, что начальная фаза смещения с мертвой точки в ряде случаев определялась здесь землетрясением.

Какие именно процессы, имеющие значение для образования оползней, происходят на склоне, как они развиваются, какое значение имеют для устойчивости склона и в каких геологических условиях протекают, как писал в одной из своих работ П. С. Rogozin, посвятивший много лет изучению оползней, может быть установлено только для каждого данного склона или отдельного оползня путем проведения изыскательских и исследовательских работ. Это совершенно правильное указание обязывает в каждом конкретном случае обращать внимание на ряд факторов, характеризующих тип оползня и условия, которые определяют механизм (см. рис. 8.2) оползневого смещения.

К этим факторам относятся: возможные изменения веса пород, зависящие от их состояния или естественной конфигурации склона или же от увеличения в породах количества воды (в результате дождей, поливов, просачивания воды в водопроводных трубках и т. п.); гидродинамическое давление воды, выходящей на склоне или в откосе; суффозионные выносы на поверхности оползневого склона; гидростатическое давление воды в трещинах; сейсмические толчки и подрывные работы; искусственные нагрузки на верхней части оползневого склона; сотрясения и вибрация от работы машин и движения поездов; речная эрозия — подмыв нижней части оползня; абразия — образование береговых абразионных платформ и ниш; искусственная подрезка нижней части оползневого склона при строительстве железных дорог, строительных котлованов и др.; искусственные насыпи и отвалы на голове оползня и на верхней части оползневого откоса; оттаивание мерзлых пород; наличие зон милонитизации, тальковых и хлорито-серпентинитовых прослоев в массивах твердых пород.

Все или часть перечисленных факторов в зависимости от местных условий должны учитываться при выборе инженерных мероприятий, предотвращающих развитие оползней.

В Армении хорошо известны Канакирские оползни на высоком левобережном склоне р. Раздана, образовавшиеся после строительства деривационного канала, заложенного на довольно широкой берме. При устройстве на склоне бермы пришлось срезать большие объемы андезито-базальтов, залегающих вдоль трассы канала на сарматских глинах. Вынутый из врезки грунт, представляющий смесь обломков андезито-базальта и глин, сбрасывался на склон сразу же ниже подошвы бермы, которая располагалась над уровнем воды в р. Раздане на высоте 80...100 м. Сарматские глины являлись водоупором для грунтовых вод, заключенных в сильно трещиноватых андезито-базальтах. Подошва бермы лежала приблизительно на уровне кровли глин. На этом же уровне по поверхности водоупора выклинивались грунтовые воды. Во время поливов в огородах и садах, расположенных выше поверхности высокой террасы р. Раздана, дебит источников на склоне резко увеличивался. Вода из источников, а также дождевая вода задерживалась расположенными ниже бровки бермы глинистыми грунтами отвалов и насыщала их. Плотность этих грунтов при увлажнении резко увеличивалась. Проводившиеся наблюдения показали, что во время увеличения дебита источников на склоне и во время дождей происходило смещение отвалов, в особенности на крутых участках склона. Смещаясь, отвалы срывали подстилающие их глины. Оползни представляли угрозу для деривационного канала. Выход из строя канала привел бы к остановке гидростанции, на энергии которой работали крупные промышленные предприятия. Каждый день простоя этих предприятий обходился бы на несколько миллионов рублей убытка.

В рассмотренном случае при консеквентном оползне смещались сарматские глины вследствие нагружения их искусственными отвалами при устройстве бермы для канала. Этому смещению способствовало периодическое водонасыщение (увлажнение) глинистых отвалов грунтовыми и дождевыми водами, которые задерживались на склоне этими же отвалами. Ливнестоки для сброса грунтовой воды, выходящей на склоне, и поверхностных дождевых вод к реке не были предусмотрены. Водоносный горизонт в течение сухого лета постоянно пополнялся за счет инфильтрации в андезито-базальты поливных вод.

Анализ причин образования оползня показал, что смещение земляных масс на склоне можно было не только приостановить, но и устранить совершенно. Такое заключение сделала геологическая комиссия и рекомендовала: провести планировку (выравнивание) склона; сбросить все земляные отвалы к подошве склона; устроить ливнестоки для сброса к реке грунтовых и поверхностных вод; заложить несколько дренажных шахт в водоносном андезито-базальтовом горизонте с размещением пола штолен по кровле сарматских глин — водоупору.

Мероприятия эти были выполнены, и с тех пор оползней на Канакирском склоне не наблюдается.

Иногда на основе проведенных изысканий рекомендуют для строительства гидроэнергетических сооружений (напорных бассейнов уравнительных башен, напорных трубопроводов и др.) участки, расположенные на склонах, не имеющих явных оползневых признаков, а затем, после возведения сооружений, выясняется, что эти участки неустойчивы.

Так, в проекте Храмской ГЭС в Грузии напорный трубопровод было намечено расположить на гранитном гребне, опускающемся к реке под углом около 30°. Это место представлялось лучшим для расположения напорного трубопровода. Однако в процессе эксплуатации стали фиксироваться подвижки анкерных опор, выражавшиеся сначала в образовании трещин в бетоне, а затем в хорошо заметных смещениях опор вместе с гранитами в их основании. Смещения достигли таких размеров, при которых железная дорога бремсберга, расположенного параллельно напорному трубопроводу, была сильно деформирована — отдельные участки дороги были разорваны, а некоторых изогнулись рельсы. В напорном трубопроводе напряжения достигли максимума. Дальнейшие подвижки грозили разрывом труб. Трудно было себе представить условия, при которых граниты могли бы ползти. Но так как они все же ползли, было решено пробурить несколько скважин, чтобы установить поверхность смещения. Одно-

временно были проведены тщательные исследования трещиноватости гранитов; предполагалось, что сильные ливни, прошедшие перед смещением массива, вызвавшим деформацию железной дороги, могли явиться причиной изменения гидростатических и механических условий внутри массива.

Исследованиями было установлено, что, во-первых, массив гранитов пересечен рядом поперечных по отношению к оси гребня разрывов несомненно тектонического происхождения, делящих весь массив на отдельные крупные блоки; во-вторых, что в массиве гранитов на глубине от 5 до 15 м находится зона милонитизации, состоящая из землистой каолининовой массы. Зона милонитизации, как показали скважины, имеет криволинейную, близкую к цилиндрической, поверхность.

Мероприятия по предотвращению оползневых подвижек гранитного массива, разработанные Тбилиским институтом Гидроэнергопроект, включали: заложение железобетонных шпилек, пересекающих поверхность скольжения; цементацию всего массива до глубины, захватывающей его на несколько метров ниже поверхности скольжения. После осуществления указанных мероприятий подвижки массива гранитов прекратились. Таким образом, совершенно очевидно, что обследование склонов для установления их устойчивости требует особого внимания. Необходимо хорошо знать морфологию оползней и факторы, создающие условия развития и динамику оползневого процесса.

При исследовании оползней надо отчетливо представлять положение поверхности скольжения, базис оползания, глубину захвата оползнем склона, очертание тела оползня, оползневые цирки. Поверхность скольжения обычно устанавливается по буровым скважинам и горным выработкам — шурфам и штольням. По образцам пород, извлекаемым из выработок, можно легко обнаружить нарушение структуры породы, изменение ее физико-механических свойств и влажности, а также зеркала скольжения, образовавшиеся при движении оползня по несмещенным породам. Поверхность скольжения наилучшим образом прослеживается по шурфам и горизонтальным выработкам — штольням, для чего они и закладываются, несмотря на их относительно высокую стоимость.

Следует отметить, что в одном и том же оползневом массиве может прослеживаться не одна, а несколько поверхностей скольжения. Такие многоярусные оползни — явление нередкое, поэтому при исследовании положения поверхности скольжения никогда не следует считать выявленную поверхность единственной. Надежное определение действительного положения поверхности скольжения имеет большое практическое значение, так как позволяет определить объем и форму оползневого тела и правильно наметить мероприятия, обеспечивающие его устойчивость (например, срезка верхней части или пригрузка нижней части оползня), а кроме того, правильно выбрать расчетные параметры.

Самое нижнее положение кривой скольжения у подошвы склона принято называть базисом оползания. Однако пересечение поверхности скольжения оползня с поверхностью склона может быть и выше подошвы склона, причем на любой его высоте. Поверхность скольжения может и совсем не пересекаться с поверхностью склона, и уходить ниже его подошвы. Первый случай характерен для висячих оползней, во втором случае оползни сопровождаются валами выпирания в основании склона. Такие валы иногда возникают на значительном расстоянии от основания склона, что зависит от разме-

ров оползня и состава оползающих пород. Так, например, у Одесского побережья Черного моря валы выпирания располагаются в 100 м от основания оползневого склона.

Глубина захвата склона оползнем характеризует мощность оползневого тела и измеряется по нормали от поверхности склона до поверхности скольжения. Глубина захвата показывает мощность оползневого тела в различных его участках — в верхней, средней и нижней частях склона и служит важным признаком в оценке устойчивости оползня.

Оползневый телом называется массив оползших пород, в котором различают «голову» (верхняя часть оползня) и «язык» (самая нижняя часть оползня).

Оползневый цирком называют котловину в виде амфитеатра, образовавшуюся на крутом склоне среди несместившихся пород. Амфитеатр представляет собой ряд дугообразных обрывов и площадок, поверхность которых часто наклонена к обрыву.

При исследованиях устойчивости склона следует пользоваться данными, свидетельствующими о наблюдавшихся здесь смещениях и подвижках горных пород склона. Так, наличие на оползневом склоне трещин, расположенных нормально к направлению движения оползня (трещины отрыва), в сочетании с трещинами, параллельными этому направлению или расположенными по отношению к нему под острым углом (трещины скалывания), является существенным признаком. Особенно характерны дугообразные конфигурации трещин отрыва. Эти трещины, как правило, открытые, зияющие. Верхние стенки трещин часто представлены в виде обрывов, возникающих при отрыве нижележащей части оползневого тела. Полости трещин при малой водопроницаемости пород обычно заполняются водой, вследствие чего на оползневых склонах образуются небольшие болотца. Характерными признаками для оползших слоистых массивов, в которых падение слоев до смещения было направлено к подошве склона, являются запрокинутость голов слоев в обратную сторону, взбугренные поверхности оползней, образовавшиеся в результате размыва дождевыми водами оползневых обрывов (этот признак свидетельствует не только о наличии оползня, но и о том, что рассматриваемый оползень долгое время находится в состоянии покоя).

Признаками, свидетельствующими об оползании склона, служат также деформации различных сооружений. Появление трещин на стенках зданий, перекосы и искривления дверных накладок, наклон оградительных столбов у дорог, разрушение водопроводных труб и т. п. — все это может быть результатом оползневых подвижек. Наличие хаотично наклоненного «пьяного леса» на поверхности оползня также является весьма показательным.

Устанавливая оползневой характер склона по одному или совокупности названных признаков, следует иметь в виду, что некоторые из них могут возникать по причинам, ничего общего не имеющим с оползнями, и поэтому могут ввести исследователя в за-

блуждение. В связи с этим необходимо тщательно изучать природу этих признаков.

При разработке противооползневых мероприятий следует учитывать, что в развитии оползня имеется несколько стадий. Первая стадия характеризуется таким состоянием склона, которое рассматривается как состояние предельного равновесия. В этой стадии смещения пород еще не происходит, но некоторые признаки начала смещения уже можно наблюдать в виде характерных трещин в тыльной части намечающегося оползня. Как показывают наблюдения, трещины могут появиться за несколько месяцев до начала оползневых подвижек; одновременно с появлением трещин отмечается изменение в режиме подземных вод, заключенных в породах склона. В этой стадии необходимо выявить главный фактор, способствующий смещению горных масс склона, и принять меры по его ограничению. Иногда достаточно бывает создать пригрузку в нижней части склона, уположить верхнюю его часть или ограничиться устройством дренажа нагорных канав и т. п.

Следующая стадия развития оползня — это само оползание, движение горных масс на склоне в горизонтальном и вертикальном направлениях со скоростью, которую можно замерять с помощью нивелировки, а в отдельных случаях и визуально. По данным Б. П. Пирогова, оползни на Ачалукском оросительном канале — на участке пересечения склонов Кабардино-Сунженского хребта (Чечено-Ингушетия) — достигли суточного смещения порядка 80 м. Известны и мгновенные оползания, происходящие в течение нескольких секунд или минут, часто влекущие за собой катастрофические последствия — завалы селений, разрушение мостов, железных дорог и др.

В 1959 г. в Хунзахском районе Дагестана на р. Кара-Койсу мгновенно ополз огромный массив известняков, на поверхности которого были сенокосные луга и паслись стада овец. Оползень этот объемом свыше 250 млн. м³ перекрыл долину р. Кара-Койсу, в результате чего образовалось водохранилище площадью 40 га и глубиной около 70 м. Только спустя некоторое время оползневой барраж был размыт и водохранилище спущено.

К оползням, возникающим неожиданно, относят такие смещения земляных масс на склонах, которые могли бы вообще не произойти, так как устойчивость склонов находилась в достаточной мере обеспеченной. Следовательно, смещение оползня, находившегося в первой стадии развития, нельзя рассматривать как нечто неожиданное. Неожиданные оползни возникают, например, вследствие сейсмических толчков и должны быть отнесены к особой категории оползневых явлений — сейсмогравитационных. На какую-то часть склона, ограниченную идеальной кривой поверхности смещения AB , всегда действует вес G . В случае сейсмического толчка к этой силе прибавляется еще сила F_1 . Абсолютные величины этих сил можно выразить следующим образом: $G=mg$ и $F_1=ma$, где m — масса; g — ускорение свободного падения; a — ускорение сейсмических

сил. Очевидно, что подвижка склона зависит от величины равнодействующей силы F .

Чем больше значения сейсмического ускорения, тем при прочих равных условиях больше сила F . Сейсмический толчок действует мгновенно, и в то же самое время происходит смещение. К числу причин, вызывающих неожиданные оползневые подвижки, могут быть отнесены явления быстрого подмыва склона речными водами, изменяющегося соотношения в распределении сил тяжести в породах склона, резкого снижения уровня паводковых вод, искусственных отвалов грунта и др.

Оползни после интенсивных подвижек часто прекращают двигаться. Происходит это вследствие образования в подошве оползня достаточно массивного контрфорса, обеспечивающего равновесное состояние сдвигающих сил с силами, сопротивляющимися сдвигу. Деятельность оползней иногда прекращается на многие годы (остановившиеся оползни). В связи с этим принято разделение оползней на активные и пассивные. К *активным* относятся действующие оползни, движение которых не прекратилось, к *пассивным* — оползни, остановившиеся в своем движении и возникающие только в связи с появлением естественных или искусственных факторов, способных вызвать их активизацию. По стадиям развития оползни активные относятся к начальной первой стадии, пассивные — ко второй и окончательно остановившиеся — к третьей. Тело остановившихся оползней остается постоянным в своем объеме и служит опорой для склона, от которого оно отделилось. Обычно такие условия возникают при весьма большом захвате склона оползневыми смещениями, создающими значительное уположение склона. Оползни в этой стадии развития не только выравнивают и уплачивают ранее обрывистый и крутой склон, но и вместе с тем лишаются «источников питания» — подвижек земляных масс с головы оползня.

В задачу инженерной геологии входит разработка рекомендаций по противооползневым мероприятиям, если на участке строительства оползни существуют или могут возникнуть вследствие производства строительных работ, а также работы самих сооружений. В результате проведенных инженерно-геологических изысканий необходимо находить для строительства такие участки, где оползни отсутствуют и нет опасности их возникновения.

Меры борьбы с оползнями весьма разнообразны. Когда оползень находится в первой стадии своего развития, правильная противооползневая профилактика и соответствующие предупредительные меры могут оказаться вполне достаточными для обеспечения его устойчивости. Оползни, находящиеся в активной стадии развития, требуют радикальных мер борьбы с ними.

К числу предупредительных мер относятся обеспечение требований, запрещающих подрезку склонов и устройства в них прорезей, а также возведение на склонах и над ними насыпей и дамб, запрещающих строительство зданий и сооружений, железных дорог, подземных водопроводов, туннелей и производство взрывных работ. Этими требованиями предусматривается также недопущение

полива площадей, занятых под сельскохозяйственные угодья, сады, огороды и вообще размещение их в определенной зоне; запрещается уничтожать кустарниковую и травяную растительность. Кроме того, вводятся требования, ограничивающие скорости движения поездов, не допускается сброс на склон технических вод. Для отвода дождевых вод устанавливают ливнестоки и нагорные канавы.

Для борьбы с оползнями применяют специальные сооружения и устройства. В том случае, когда оползание пород со склона обуславливается эрозийным процессом — размыванием нижней части склона речной водой, применяют берегоукрепительные и струенаправляющие сооружения. Для отвода поверхностных (атмосферных и технических) вод устраивают ливнестоки, нагорные канавы, водосточную сеть закрытого типа. Эти сооружения возводят на склоне после тщательной планировки, мощения камнем или бетонными плитами. К планировочным работам относится также устройство на склоне бERM.

Если оползневые явления возникают в результате насыщения земляных масс водой (поверхностей — в случае отсутствия на склоне водоотводной сети или подземной — в случае выклинивания ее на склоне), то устраивают откосные дренажи; если оползание связано с действием подземных вод, то используют подземные дренажи в виде горизонтальных и наклонных штолен (галерей). Откосные открытые дренажи представляют собой небольшие площадные каменные настилы (30...40 см) на поверхности склона при прорези, также заполненные камнем и ориентированные на склоне в направлениях, перехватывающих выходы родников, и обеспечивающие отвод воды со склона.

Подземные дренажи перехватывают подземные воды и отводят их из тела оползня. Для этого в дренажных галереях применяют бетонную облицовку, сквозь которую закладывают сеть собирающих воду радиальных скважин, перекрытых перфорированными трубами. В песчаных породах устраивают забивные фильтры. Иногда дренажную галерею закладывают ниже поверхности скольжения оползня, а воды из тела оползня сбрасывают в галерею по вертикальным скважинам. Этот способ предохраняет дренажную галерею от деформаций и даже от разрушения.

Надо заметить, что часто неправильно заложенная дренажная галерея является причиной усиления оползневых подвижек. Такая галерея перестает при деформации склона отводить собирающуюся в ней воду. Так было, например, в балке Сушильной близ Севастополя, где дренажная штольня, заложенная в коренных породах для отвода воды в смещающихся в балке рыхлых пород, оказалась после ее искривления резервуаром, из которого происходило насыщение пород водой. В соответствующих условиях, когда прочные водоносные породы, например песчаники или известняки, лежат на водоупоре, дренажные галереи закладывают таким образом, чтобы пол галереи находился на кровле водоупора, а стены и потолок — в водоносной породе. В этом случае галерея, являясь коллектором подземных вод, служит еще и водосточным устройством.

Для предотвращения оползания пород или прекращения оползневой подвижки в определенных геологических условиях применяют подпорные стенки, сваи, контрбанкеты, контрфорсные столбы и др. Все эти сооружения специально рассчитывают с учетом всех сдвигающих сил и сил удерживающих. Основным условием при возведении подпорных сооружений является заложение их на несмещаемом фундаменте. В большинстве случаев в борьбе с оползнями применяют комплексные мероприятия: вместе с подпорными сооружениями закладывают дренажные галереи, производят уплаживающую срезку и планировку склона, устраивают контрбанкет и др.

Не исключены в практике строительства крупных сооружений и такие мероприятия, как полное удаление оползневых масс, например, гидромониторами. Так, крупные оползни района Мингечаурского гидроузла было выгодней размыть, чем пытаться остановить их.

Часто в качестве средства, предотвращающего оползни, применяют цементацию. Она может быть использована только в скальных трещиноватых породах при наличии пластовых трещин с уклоном к подошве оползня, частично заполненных глиной и являющихся плоскостями скольжения. Надо, однако, иметь в виду, что способ этот представляет и определенную опасность, связанную с утяжелением пород, и поэтому должен применяться с необходимыми мерами предосторожности.

8.2. ОБВАЛЫ

Обвал — это внезапное отделение массы горных пород на крутом склоне с углом, большим угла естественного откоса, происходящее вследствие потери сцепления в результате выветривания или потери опоры из-за эрозии и абразии в основании склона. Обвалы относят к гравитационным движениям без участия воды. Они часто вызываются сейсмическим толчком. Обрушивающиеся массы горных пород скапливаются у подножия склонов и образуют завалы, а также участвуют в образовании коллювия и накоплении горного делювия. Обычные горные обвалы, связанные с разрушением пород в результате выветривания, представлены глыбами объемом от нескольких дм³ до нескольких м³. Глыбы обвалов, накапливающиеся у подножья склона, иногда представляют собой угрозу для строений и инженерных сооружений, расположенных на этих участках: гидроэлектростанций, напорных бассейнов и трубопроводов, уравнильных башен, мачт электропередачи и шоссейных дорог.

О возможности возникновения обвалов в пределах исследуемого участка судят по характеру склонов и наличию у их подножий обвальных накоплений. Если вершина склона изрезана, нависает над нижней частью склона в виде козырьков, если на склоне массива слоистой структуры пласты падают с таким же уклоном, как и поверхность склона, а на ней видны свежие следы смещения отдельных блоков пластов, то все это свидетельствует об активных обвальных процессах. Если же склон имеет ровную, сглаженную

поверхность, у подножья склона и на его поверхности нет обвалившихся глыб, то это свидетельствует об отсутствии обвальных процессов.

Приведенная характеристика склонов относится к крайним случаям: когда обвалы есть и когда обвалов нет. Однако могут быть склоны, которые в морфологическом отношении как будто бы и не вызывают опасений, но являются не менее опасными, чем склоны с явно выраженными обвальными признаками. К таким склонам относят крутые высокие склоны горных ущелий и каньонов, разбитые системой вертикальных и горизонтальных трещин, расчленяющих массив на отдельные блоки. Такая система блоков может быть расстроена незначительной подрезкой склона, взрывными работами, наполнением ущелья водой, землетрясениями. Характерным примером таких склонов являются склоны Токтогульского ущелья р. Нарына, где сооружается высокая арочная плотина. В проекте этой плотины предусматривалась глубокая врезка ее плеч в береговые склоны, за пределы трещин бортового отпора, т. е. на расстояние около 100 м. Однако в дальнейшем от этой врезки проектная организация отказалась, учитывая то обстоятельство, что при производстве работ неизбежно нарушение устойчивости откосов врезки.

Меры борьбы с обвальными явлениями сводятся к расчистке склонов от глыб, камней и взрывным работам. При невозможности проведения подобных мероприятий рассматривают варианты подземного расположения сооружений или устройства мощных перекрытий над надземными.

Часто явление обвалов вынуждает возводить сооружения такого типа, которые в меньшей степени подвержены опасности разрушения, например земляные или каменнонабросные плотины. Решение вопроса о защите от обвалов может быть комплексным: плотина возводится земляная, машинное здание ГЭС и напорные трубопроводы располагаются под землей. В геологических условиях, в каких строится Токтогульский гидроузел, земляную плотину строить нельзя, так как в ее основании оказались бы глубокие тектонические разрывы, на которые легли бы верховой и низовой откосы плотины. При 9-балльной сейсмичности района это могло бы привести к серьезным последствиям. Но и строящаяся арочная плотина может быть легко повреждена, если произойдут обвалы склонов. Поэтому в проекте этого сооружения предусмотрены большие и дорогостоящие работы по предварительной расчистке и анкеровке склонов стальными тязами. Машинное здание ГЭС будет расположено под землей.

8.3. ОСЫПИ И ОСОВЫ

Осыпи — это накопления, образующиеся при скатывании со склонов щебенистых обломков пород объемом от нескольких дм³ до нескольких м³. Накопления эти обычно приурочены к балкам и ложбинам, по которым они, как в русле, смещаются вниз в резуль-

тате выветривания горных пород. Движение осыпей имеет прерывистый характер. Щебенка осыпи состоит преимущественно из твердых пород; при накоплении щебенки осыпь становится все тяжелее, а угол откоса осыпи — все больше. Когда угол откоса становится больше угла, соответствующего пределу устойчивости, осыпь смещается и движется до тех пор, пока в результате естественного уположения откоса наступает состояние равновесия. Спокойно лежащая осыпь может прийти в движение, даже если по ней начнет подниматься человек. Движение осыпи происходит без участия воды, но во время ливней оно значительно усиливается. Движение осыпей может начаться вследствие землетрясений.

Осыпи, как оползни, подразделяют на *активные* и *пассивные*. И те и другие могут располагаться рядом, на одном и том же склоне благодаря различным уклонам и формам их коренного ложа. Масштабы явления осыпей различны в зависимости от высоты склонов и размеров ложа осыпей — ложбин и балок. От этих масштабов осыпей зависит и сложность борьбы с ними; малые осыпи можно расчистить; огромные осыпи при расчистке все время будут пополняться сверху и объемы работ могут быть настолько велики, что устранение их может быть целесообразно лишь при осуществлении крупного строительства. При строительстве дорог, например, выгоднее бывает обойти большую осыпь туннелем. Осыпи небольших и даже средних размеров с относительно неглубоким ложем можно закреплять на время, перегораживая их фашинами, шпунтами и др. Такие мероприятия применяют при защите от засыпания горных шоссежных дорог.

Осовы отличаются от осыпей тем, что щебенистый материал их состоит из смеси твердых и мягких пород. Присутствующие в осовах мягкие породы — мергели, кремнистые глины, опоки и глинистые сланцы — благодаря их малой (в отличие от осыпей) водопроницаемости задерживают воду. Осовы движутся вследствие насыщения их водой, но их движение не носит, как у оползней, характера пластического течения. Какая-то часть их тела вдруг, смещаясь, оседает вниз, образуя обрыв на границе смещения; вслед за этим смещается вышележащий участок и т. д. Вероятными факторами в образовании осов являются насыщение их водой и уменьшение трения. Значение осов в строительном деле и меры борьбы с ними можно рассматривать в том же аспекте, что и осыпей.

8.4. ОПЛЫВИНЫ И ЛАВИНЫ

Оплывины — это смещение со склонов разжиженных земляных масс. Разжижение может происходить вследствие насыщения глинистой породы водой и перехода ее в текучее состояние. Особенно подвержены этому легко размокающие породы, например лёссы и лёссовидные суглинки.

Исключительное по своей грандиозности явление оплывины произошло в 1941 г. на Алхантчуртском быстротоке у сел. Нижние Ачалуки (территория Северо-Осетинской АССР). Бетонный лоток

быстротока протяженностью 450 м был сооружен по гребню-отрогу Кабардино-Сунженского хребта на просадочных лёссовидных суглинках. При эксплуатации канала лоток давал трещины вследствие происходивших просадок грунтов. Трещины сразу же заделывали. Так продолжалось до Великой Отечественной войны, во время которой наблюдения за лотком быстротока были прекращены. В ноябре 1941 г. в лотке образовалась большая трещина, в которую устремилась из него вода. По рассказам очевидцев, весь лоток был разрушен сверху донизу в течение полутора часов. Куски бетонной облицовки лотка плыли в текущей массе грунта, имевшей консистенцию сметаны, были снесены к гасителю, располагавшемуся у подошвы склона, и здесь беспорядочно сгрудились.

Указанное смещение грунта по склону представляет собой типичное явление оплывины. С этим явлением строители часто встречаются при сооружении каналов, строительных котлованов, прорезей, выемок под железнодорожное полотно и иногда при сооружении земляных плотин. Вопрос о допустимой величине увлажнения размокающих грунтов должен быть всегда в поле зрения инженера-геолога.

Лавины представляют собой обрушение снежных масс с горных склонов. Снежные лавины периодически возникают в местах расположения горных ледников. Язык ледника, доходя до внешнего края отрога, обрывается, и огромная масса снега и льда, в которой содержатся обломки горных пород, с большой скоростью устремляется вниз. В районе Дарьяльского ущелья на р. Терек в Центральном Кавказе лавина, оторвавшаяся от Девдоракского ледника, перегородила дорогу р. Терек и образовала озеро высотой до 60 м. Военно-Грузинскую дорогу пришлось переносить на более высокие отметки, где она функционировала в течение ряда лет, пока лавина не была размыта.

Лавины возникают не только в связи с ледниками. В зимнее время при большом снегопаде лавины на горных склонах развиты везде, где существуют эрозионные ложбинки и снег может накапливаться до определенных объемов, после чего под влиянием собственного веса срывается и обрушивается. На Крестовом перевале Военно-Грузинской дороги в связи со снежными лавинами зимой транспортное движение прекращается. Вся дорога в пределах перевала защищена железобетонными перекрытиями на случай возникновения лавин в позднеосенний и ранневесенний периоды, когда дорога еще функционирует.

Снежные лавины представляют большую угрозу при падении их в водохранилище вблизи плотины. Они могут вызвать сильный всплеск волны, способный причинить плотине серьезные повреждения. Исследование лавин является одним из важных и серьезных вопросов инженерной геологии. При инженерно-геологических изысканиях для проектирования гидроэлектростанций лавины должны изучаться на основе сведений об этих явлениях за многие десятилетия.

8.5. ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ

К группе гравитационных явлений относится горное давление, возникающее под действием веса пород, лежащих над выработкой, при строительстве подземных сооружений, а также в результате разрядки тектонических напряжений в горном массиве. Горное давление зависит от геологического строения горного массива, глубины подземной выработки (например, туннеля), размеров этой выработки, гидрогеологических и других условий.

Из опыта производства горных работ и, в частности, строительства туннелей установлено, что давление на крепь подземных выработок меньше, чем вес призм пород, лежащих выше выработки. При строительстве Симплонского туннеля на глубине около 200 м горное давление нигде не превышало веса вышележащих пород. Объяснение этому было дано проф. М. М. Протоdjяконовым, который исходил из тех соображений, что над подземной выработкой создается свод естественного равновесия параболической формы. Горное давление на крепь в параболическом своде равно весу породы, находящейся в контуре свода (см. рис. 8.3). Таким образом, горное давление на крепь со стороны кровли на 1 м длины подземной выработки

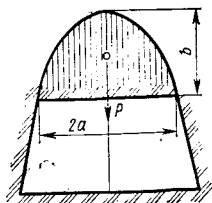


Рис. 8.3. Расчетная схема для определения горного давления на крепь выработки со стороны кровли по гипотезе проф. М. М. Протоdjяконова

$$p = 4ab\rho/3,$$

где a — полупролет выработки, м; ρ — плотность породы, кг/м^3 ; b — высота свода естественного равновесия, м, $b = l/\bar{f}_{\text{кр}}$ — при сроке службы выработки до одного года, $b = 2a/\bar{f}_{\text{кр}}$ — при сроке службы выработки более года; здесь $\bar{f}_{\text{кр}}$ — коэффициент крепости, по М. М. Протоdjяконову (табл. 8.2), можно принимать для связных рыхлых пород равным $\text{tg } \varphi$ (практически $\bar{f}_{\text{кр}}$ изменяется в пределах от 0,1 до 1), для связных пород, обладающих сцеплением, равным $\text{tg } \varphi + c/F$, где c — сцепление и F — нагрузка, определяемая по давлению на стенку выработки веса породы G в объеме полусвода обрешения,

$$G = h - a = Fh \text{ ctg } \varphi,$$

где h — высота выработки.

Показатель коэффициента крепости $\bar{f}_{\text{кр}}$ для скальных пород можно получить и путем установления прочности породы при одноосном раздавливании. Одна сотая величины временного сопротивления породы раздавливанию будет характеризовать крепость породы.

По Н. М. Цымбаревичу, боковые стенки в выработке, пройденной в неустойчивых породах, будут обрушиваться, смещаясь под углом $\theta = (90^\circ + \varphi)/2$ (рис. 8.4). С его точки зрения, формула

Таблица 8.2

Грунты	Коэффициент крепости $f_{кр}$	Плотность, ρ , г/м ³	Кажущийся угол внутреннего трения ϕ , град
Наиболее крепкие плотные и вязкие кварциты и базальты, исключительные по крепости другие породы	20	2,8 ... 3	87
Очень крепкие гранитовые породы, кварцевый порфир, очень крепкий гранит, кремнистый сланец, менее крепкие, нежели указанные выше, кварциты, самые крепкие песчаники и известняки	15	2,6 ... 2,7	85
Гранит (плотный) и гранитовые породы, очень крепкие песчаники и известняки, кварцевые рудные жилы, крепкий конгломерат, очень крепкие железные руды	10	2,5 ... 2,6	82,5
Известняки (крепкие), некрепкий гранит, крепкие песчаники, крепкий мрамор, доломит, колчеданы	8	2,5	80
Обыкновенный песчаник, железные руды	6	2,4	75
Песчанистые сланцы, сланцевые песчаники	5	2,5	72,5
Крепкий глинистый сланец, некрепкий песчаник и известняк, мягкий конгломерат	4	2,8	70
Разнообразные сланцы (некрепкие), плотный мергель	3	2,5	70
Мягкий сланец, мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс, мерзлый грунт, антрацит, обыкновенный мергель, разрушенный песчаник, сцементированная галька и хрящ, каменистый грунт	2	2,4	65
Щебенистый грунт, разрушенный сланец, слежавшиеся галька и щебень, крепкий каменный уголь, отвердевшая глина	1,5	1,8 ... 2	60
Глина (плотная), средний каменный уголь, крепкий нанос, глинистый грунт	1	1,8	60
Легкая песчанистая глина, лёсс, гравий, мягкий уголь	0,8	1,6	40
Растительный грунт, торф, легкий суслинок, сырой песок	0,6	1,5	30
Песок, осыпи, мелкий гравий, насыпной грунт, добытый уголь	0,5	1,7	27
Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лёсс и другие разжиженные грунты	0,3	1,5 ... 1,8	9

М. М. Протоdjяконова пригодна только для расчета в скальных породах. Исходя из сказанного, Н. М. Цымбаревич для расчета полупролета свода естественного равновесия при выработке прямоугольного сечения высотой h применяет формулу

$$a_1 = a + h \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + \alpha}{2}.$$

Из приведенных формул следует, что горное давление не зависит от веса пород, лежащих выше выработки. Однако это не согласуется с данными наблюдений, которыми установлено, что горное давление зависит от веса пород, лежащих выше выработки, и, следовательно, от состава и мощности этих пород. Установлено также, что действие свода равновесия относится только к выработкам небольшой ширины, а при большой ширине свод не выдерживает давления.

Разработка теории вопроса о характере проявления горного давления в различных тектоногеологических условиях связана с большими трудностями. Основная причина этого заключается в том, что к реальным породам и их сочетаниям в геологическом разрезе трудно применить законы механики твердых тел. В настоящее время для измерения горного давления используют методы моделирования, основанные на теории подобия, и методы фотоупругости.

Практические измерения горного давления на крепь осуществляются различными инструментальными способами. Одним из них является динамометрический — измерение производят механическим, электрическим и гидравлическим динамометрами. Механический динамометр сконструирован по принципу часового механизма, электрический — работает с помощью электротензометров сопротивления, гидравлический — основан на изменении объема полости, заполненной жидкостью.

Следует иметь в виду, что горное давление зависит от многих условий. Так, на горное давление значительное влияние может оказывать гидратация ангидрида и переход его в гипс, в результате чего объем породы увеличивается до 60%. Столь же большое влияние на развитие процессов, вызывающих горное давление, может оказать уменьшение прочности глинистых пород в связи, например, с их водонасыщением, а также развивающиеся в породах при определенных условиях процессы упругого последействия. Горное давление на обделку туннеля зависит от свойств пород, в частности от их модуля упругости, ползучести и текучести, времени, в течение которого происходит процесс нагружения на породы, глубины заложения туннеля от поверхности Земли, степени деформируемости обделки туннеля.

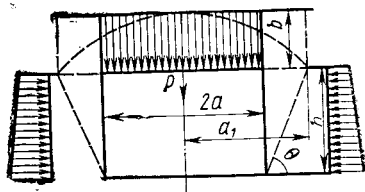


Рис. 8.4. Расчетная схема для определения горного давления на крепь выработки прямоугольного сечения

Туннель, имеющий жесткую обделку, будет обжат радиальными напряжениями, величина которых зависит от глубины его заложения от поверхности. Давление, испытываемое туннелем, может значительно превышать давление, отвечающее условиям свода обрушения, и при этом не вызывать деформаций, что обуславливается упругостью и жесткостью обделки туннеля, а также упругостью окружающих его пород. Если породы не обладают упругостью, могут произойти деформации, причем частично необратимые. Таким образом, радиальные напряжения на обделку туннеля в упругом массиве будут определяться остаточной, еще не погашенной во времени долей упругой деформации массива. В этом случае появляется упругое последствие, т. е. условие, при котором разгрузка упругой деформации происходит медленно по мере уменьшения сил внутреннего сопротивления в окружающих туннель породах. Проявление упругого последствия сказывается в ослаблении давления на обделку туннеля; таким образом, происходит процесс релаксации.

Давление на обделку туннеля может изменяться и в связи со снижением прочности пород во времени, например, вследствие явлений ползучести и длительной прочности глинистых пород. Таким образом, можно сделать вывод, что после проходки туннеля весьма важно соблюдение таких условий, при которых окажется возможным достижение ослабления упругого давления и в то же время сохранение прочности пород.

Туннель Ладжанурской ГЭС, пройденный в песчанистых глинах и глинистых песчаниках с круглым сечением диаметром 6 м, был облицован чугунными тюбингами. Под действием горного давления тюбинги были раздавлены. Первоначально предполагалось сразу заменить тюбинги железобетонной обделкой, но затем было решено (по предложению проф. Н. Н. Маслова) отложить работу по устройству крепления на некоторое время для того, чтобы могло проявиться упругое последствие. Только после этого приступили к замене тюбингов железобетонной обделкой, которая и до настоящего времени обеспечивает безаварийную работу туннеля.

Процессы горного давления обуславливают целый ряд явлений в подземных горных выработках, основные из которых представляют горные удары, выбросы пород, пучение, обрушение и куполение пород, сдвигание и др. Горные породы наблюдаются на большой глубине, причем в породах высокой прочности. Явление это характеризуется выбросом породы в свободную полость выработки. Очевидно, при этом происходит разрядка напряженного состояния пород вокруг выработки и мгновенный переход энергии напряжения в кинетическую энергию.

Горные удары сопровождаются сильным шумом. Явление внезапных выбросов угля и газа характерно для углей, пласты которых сжаты крепкими породами. Близко этому явлению пучение (поддувание), представляющее выдавливание пород в горные выработки. Оно иногда достигает такой силы, что ломаются даже металлические и железобетонные крепления.

8.6. СДВИЖЕНИЕ

Сдвигание — это прогиб пород, обрушение, провалы, сдвиг по напластованию и по тектоническим разрывам, выдавливание пород и их пластическое течение. Сдвигание происходит над выработанными участками земли, где вышележащая толща пород, прогибаясь или смещаясь, достигает земной поверхности.

Прогибы слоев пород в результате создания подземной выработки могут происходить плавно, т. е. с изгибанием слоев без разрыва их сплошности. Прогиб слоев может сопровождаться и разрывом сплошности, переходящим в сдвиг.

Различные явления сдвигания зависят от литологического состава пород и условий их залегания, однородности и неоднородности прогибающейся толщи, ее мощности и трещиноватости, гидрогеологических условий. Сплошность слоев нарушается при условии, когда растягивающие и изгибающие напряжения становятся больше пределов прочности на осевое сжатие пород.

Сдвигание, по С. Г. Авершину, характеризуется несколькими зонами. В кровле выработанного пласта породы образуют зону беспорядочного обрушения и провисания. Высота этой зоны приблизительно равна

$$h = m / (k - 1),$$

где m — мощность вынимаемого пласта; k — коэффициент разрыхления, зависящий от физико-механических свойств пород, мощности вынимаемого пласта, размеров обнажений при обрушении пласта, скорости продвижения забоя выработки; $k = 1 \dots 1,5$.

Выше зоны обрушения находится зона связного движения с образованием трещин. Над этой зоной, вплоть до поверхности земли, располагается зона связного плавного движения, т. е. движения, при котором уже не происходит разрыва пород. Если на подрабатываемом участке породы обладают высокой прочностью, то даже при больших пролетах выработки обрушения может не быть. При залегании выше подрабатываемого слоя пластических глин кривая прогиба может дать плавную просадку без разрыва слоев. В кровле, сложенной трещиноватыми слоистыми породами, могут происходить вывалы и так называемое куполение, т. е. образование над выработкой сводов-куполов. Это явление характерно и для рыхлых пород.

Зона сдвигания формируется в зависимости от условий залегания пород. Участки, подвергающиеся сдвиганию над подземными выработками и проявляющиеся на поверхности, называют *мульдами сдвига*. Для измерения площадей мульд и углов сдвига устанавливают реперы и постоянно ведут специальные геодезические наблюдения.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

9.1. ФИЛЬТРАЦИЯ

Гидродинамические процессы связаны с движением воды в реках, морях, озерах, горных породах и сооружениях (в земляных и каменабросных плотинах, дамбах, каналах). По своему характеру эти процессы делят на фильтрационные суффозионные, эрозионные, абразионные и селевые. Они вызывают целый ряд явлений, с которыми приходится иметь дело инженеру-строителю.

Виды движения воды представлены процессами фильтрации и миграции.

Фильтрация — это течение жидкости в водопроницаемых породах, происходящее под действием гидравлических сил, или, другими словами, действующего давления.

Миграция — это движение поровой воды под действием капиллярных, адсорбционных и осмотических процессов, процессов обусловленных разностью влажностей, температур и электрических потенциалов в разных точках породы. Миграцией называют движение воды, заключенной в породе, связанное с процессом ее испарения, а также движение воды к центрам кристаллизации льда при промерзании породы. Миграция поровой воды возникает как процесс, равнозначный разности напоров на пути движения воды.

Говоря о фильтрации, естественно, важно знать о расходе фильтрующейся воды и скорости движения. *Расходом* называют объем воды, см/с или м/сут, проходящей через определенное сечение фильтрующей среды в единицу времени.

Вода, двигаясь в горной породе, может разрушать ее, размывать и выносить из породы мелкие частицы. Разрушение для каждой отдельной породы наступает при определенных скоростях движения воды. Такое разрушение представляет явление фильтрационной деформации. При строительстве плотин принимают меры к предотвращению фильтрационных деформаций как самой плотины, так и пород, залегающих в ее основании и в береговых примыканиях. Если противофильтрационные меры, принятые в процессе строительства, оказались недостаточными и начавшаяся фильтрационная деформация не ликвидирована сразу же после ее обнаружения, то сооружению грозит разрушение.

Часто при возведении высоких и сверхвысоких плотин напор достигает огромных размеров. В связи с этим возрастают и напорные градиенты. Для их снижения под бетонными плотинами устраивают цементационные завесы глубиной 100 ... 150 м и более, а у низового откоса плотины закладывают глубокие дренажные скважины, с тем чтобы перехватывать просочившуюся сквозь завесу воду. В береговых примыканиях также устраивают завесы или шпоры для отвода фильтрационного потока в сторону от зоны примыкания плотины к берегу. Все эти мероприятия сводятся к удли-

нению пути фильтрации из водохранилища к низовому откосу плотины и, следовательно, к уменьшению напорного градиента фильтрационного потока. Для земляных плотин та же задача решается путем увеличения ширины плотины по основанию, устройства глиняного экрана на верховом откосе, продолжающегося по дну водохранилища в виде понура, устройства непроницаемого ядра плотины и зуба, забивки металлических и деревянных шпунтов.

Все эти мероприятия проводят на основе гидрогеологических исследований и гидротехнических расчетов, выполняемых в процессе проектирования плотины.

9.2. МЕХАНИЧЕСКАЯ СУФФОЗИЯ

С явлениями фильтрации и с фильтрационными деформациями тесно связаны суффозионные явления. Процесс *механической суффозии* представляет собой разрыхление породы движущейся в ней водой и вынос частиц водным потоком. Разрыхление пород и вынос частиц может происходить и вследствие химической суффозии. Если механическая суффозия связана с гидродинамическим давлением, действующим на выходе воды на склонах при резком снижении поверхности водного потока (крутая депрессионная поверхность), то химическая суффозия связана, главным образом, с движением воды в водорастворимых породах. *Химическая суффозия* — процесс растворения породы, который происходит гораздо быстрее при больших скоростях движения воды.

Вынос частиц или солей из породы приводит к образованию в ней пустот или зон разрыхления; чем больше скорости потока, тем более крупные частицы могут им выноситься. С увеличением скорости потока повышается и скорость суффозии. К суффозионным явлениям относят осевшие поверхности, суффозионные блюдца, воронки и пустоты.

Процесс суффозии развивается при определенных условиях движения фильтрующейся воды, составе и структуре породы и наличии в ней пор и пустот, по которым происходит фильтрация. В результате проведенных Н. М. Бочковым исследований было показано, что частицы песка могут выноситься только при турбулентном движении водного потока, которое возникает в песках при гидравлическом градиенте, равном 5 и более. Мелкие частицы песка будут выноситься из массы песка, состоящего из двух фракций, при отношении диаметров их больше чем 1 : 20, и, наконец, суффозия на контакте двух слоев будет происходить в том случае, если отношение коэффициентов фильтрации этих слоев больше 2.

А. Е. Замарин указывает, что в движущейся воде взвешивание песка происходит при критическом градиенте

$$i_{кр} = (\rho - 1)(1 - n) + 0,5n,$$

где ρ — плотность песка; n — пористость песка в долях единицы.

Для определения скорости, при которой начинается вынос частиц мелкозернистого песка в крупнозернистый, С. В. Избаш и Л. И. Козлова рекомендуют формулу

$$v_{кр} = 0,26d^2 [1 + 1000 (d_{60}/D_{60})^2],$$

где d — диаметр частиц первого слоя, мм; d_{60} , D_{60} — диаметры 60% частиц соответственно для первого и второго слоев, мм.

Формула выведена для двух слоев: однородных песков с диаметром 0,088 ... 0,5 мм и для однородного по составу гравия с диаметром от 2 ... 3 до 12 ... 15 мм.

Чтобы выявить условия развития суффозионных процессов и явлений, а также определить меры по предотвращению суффозии, необходимо в каждом отдельном случае иметь подробные данные о геоморфологии и геологическом строении района сооружений, физических и механических свойствах горных пород, характере движения в них воды, о количестве и характере распределения в породах водорастворимых солей.

К мерам по предотвращению суффозии относятся улучшение свойства пород битумизацией или силикатизацией, регулирование поверхностного стока, устройство защитных покрытий типа обратных фильтров и др.

9.3. ПЛЫВУНЫ

Гидродинамические процессы, происходящие в рыхлых горных породах, нередко приводят к явлениям плавучести (оплывания). Породы, обладающие свойством плавучести, получили название плывунов. Плывуны — это рыхлые, преимущественно песчаные породы, проявляющие при определенных гидродинамических условиях большую подвижность.

Различаются *истинные* плывуны — пески, содержащие гидрофильные коллоиды, и *ложные* — пески, не содержащие коллоидных частиц. Истинные плывуны переходят в плавунное состояние при незначительных напорных градиентах и приобретают устойчивые плавунные свойства. Ложные плывуны переходят в плавунное состояние при больших напорных градиентах, легко отдают воду, после чего не проявляют плавунных свойств. Плывуны могут возникать и в результате жизнедеятельности микроорганизмов и происходящих в толще рыхлых пород биохимических процессов.

Оплывание рыхлых горных пород, вызванное только гидродинамическим давлением, можно пояснить следующим опытом. Если в сосуд, наполненный песком, подавать снизу (через отверстия в дне) воду, то при достижении критического градиента песок приобретает взвешенное состояние, обусловленное гидродинамическим давлением. Монета или гирька, положенные на песок, тонут в нем. Имеется много указаний на аналогичное состояние взвешивания галечника, испытывающего давление воды снизу вверх.

Плывуны иногда обнаруживаются в естественных обнажениях, например в оврагах, горных выработках, в строительных котлованах, каналах, туннелях, шахтах и буровых скважинах. Появление

плывунов всегда связано с разницей напоров подземных вод, поэтому предотвратить плавунность породы можно гидравлическим способом. Например, при вскрытии котлована под плотину Каховской ГЭС уровень воды в нем нельзя было снижать ниже уровня грунтовых вод за его пределами, так как при этом откосы быстро оплывали и котлован заполнялся разжиженной песчано-глинистой массой. Проходку можно было продолжать лишь после установки иглофильтров, с помощью которых уровень грунтовых вод за его контурами поддерживался на уровне воды в котловане.

При бурении скважин вскрытие плавунa приводит к образованию песчаных пробок. Скважина забивается доверху песком и проходка ее становится невозможной, плавун прихватывает буровой инструмент и извлечение его из скважины возможно только вместе с извлечением обсадных труб. При бурении скважин с заполненными водой обсадными трубами подача плавунa снизу происходить не будет.

Часто при возведении сооружений в их основании обнаруживается плавун. Всю толщу плавунa в этом случае пробивают сваями, которые и служат фундаментом сооружения. Забивку свай в плавун производят частыми ударами небольшой силы; сначала сваи идут легко в грунт, затем погружение их приостанавливается. Спустя некоторое время сваи при забивке вновь начинают легко погружаться. Такие остановки погружения свай объясняются сопротивлением их действию вертикальной нагрузки и называются «отказом». Время, которое требуется для того, чтобы свая вновь начала погружаться, называется «отдыхом». Это время составляет 2...3 сут для средних и мелких песков и 12...18 сут для суглинистых, илистых и тонкозернистых песчаных грунтов.

Очень важно иметь в виду, что давление плавунa может вызвать выпор крепи шахт, штолен и временного крепления туннелей. При строительстве деривационного туннеля второй Храмской ГЭС геологами отмечалась возможность появления плавунa на большой глубине на трассе туннеля. Однако строители не захотели обходить опасную зону, так как это удлиняло туннель и удорожало его. В результате с подходом к указанной зоне забой туннеля был прорван и на протяжении многих десятков метров туннель забило песком.

К мероприятиям по борьбе с плавунaми относится осушение пород, насыщенных водой. При высокой водопроницаемости пород (не менее 1 м/сут) осушение производится откачкой воды из скважин. При водопроницаемости плавунa менее 1 м/сут осушение производят откачкой воды из забивных и опускных фильтров. В плавунa с водопроницаемостью менее 0,2 м/сут устанавливают иглофильтры, с помощью которых нагнетают воздух, отжимающий из плавунa воду. Для осушения плавунa применяют также электродренаж. Этот способ позволяет осушать породы с коэффициентом фильтрации менее 0,2 м/сут.

Другим способом борьбы с плавунaми является изоляция плавунa шпунтовыми ограждениями, а в горных выработках (шахтах,

штольнях, туннелях) — крепление или заложение опускных колодцев (стальные или бетонные трубы больших диаметров). В настоящее время опускные колодцы успешно закладывают специальными вибрационными установками. Способ изоляции плывунов ограничен, так как шпунтовые ограждения в виде стальных, деревянных и других шпунтов можно опускать на глубину только от 10 до 25 м. При забивке шпунтов придется учитывать особенности геологического строения. Так, при наличии над плывуном слоя галечника забивка шпунтов становится невозможной; нельзя довести шпунты и до водоупора в том случае, когда плывуны подстилаются толщей галечно-валунных отложений. Возможность изоляции плывуна шпунтовыми ограждениями определяется по геологическому разрезу.

Довольно часто для борьбы с плывунами применяют способ, основанный на использовании сжатого воздуха — проходка плывунов кессоном. Существующие электрохимические способы закрепления плывуна пока еще не нашли широкого применения.

Весьма эффективным способом борьбы с плывунами является замораживание, хотя и требует большого расхода электроэнергии. Этот способ осуществляют путем нагнетания в скважину охлажденного концентрированного хлористого кальция. Плывун, замерзая, становится твердым и устойчивым. В ряде случаев это почти единственный способ, с помощью которого с плывунами можно бороться в любых геологических условиях.

9.4. ЭРОЗИЯ

К гидродинамическим процессам относят не только процессы, исходящие внутри горных пород (фильтрация, суффозия, плывуны), но и процессы, происходящие на поверхности земли. Вода и здесь интенсивно разрушает породы. Этот процесс разрушения горных пород водным потоком при одновременном действии гравитационных сил называют эрозией. Он приводит к образованию долин, постепенному их углублению и расширению, а также снижению поверхности водосборных бассейнов. При эрозии происходит: механическое размывание горных пород энергией потока, истирание дна русла водой и твердыми частицами (обломками) горных пород; химическое растворение горных пород.

Различают эрозию *плоскостную* — смывающая деятельность дождевых и талых вод в сочетании с гравитационным перемещением, характерную для склонов, водоразделов, верхних участков водосборных воронок; эрозию *линейную*, сосредоточенную, образующую овраги и долины и подразделяющуюся на глубинную врезающуюся (пятающуюся) и боковую, расширяющую дно долины путем меандрирования.

Плоскостной смыв. Плоскостной смыв является результатом размывающей деятельности дождевых и талых вод, проявляющейся более или менее равномерно по всей поверхности склонов и водоразделов. Вода при этом стекает частично плоскостным по-

током, а также по местным мелким ложбинам стока. Живая сила текущих вод обычно невелика и способна сносить главным образом только частицы песка и глины. Сносимый материал накапливается у подножья склонов или в тех местах, где начинает теряться энергия распластанного по поверхности земли потока.

Плоскостной смыв часто уничтожает почвенный плодородный покров. В таком случае говорят о водной почвенной эрозии, возникновение которой нередко связано с устройством неправильно ориентированных прорезей, каналов, распашкой склонов, уничтожением растительности.

В условиях мерзлоты слой почв часто сносится в виде грязевого потока при весеннем оттаивании. Разрушение почв происходит также под действием ливневых вод, особенно на распаханых землях, в условиях, способствующих быстрому поверхностному стоку. Защита почв от водной эрозии является важной гидротехнической задачей, которая должна решаться параллельно с комплексом сельскохозяйственных мероприятий. Основные гидротехнические мероприятия по борьбе с водной почвенной эрозией — устройство ливнестоков, нагорных каналов и другие работы, обеспечивающие отвод поверхностных вод на локализованных участках.

Эрозионные процессы на равнинах и склонах. К геологическим явлениям, происходящим в связи с гидродинамическими процессами, относятся овраги. Овражная сеть отнимает огромные площади ценных сельскохозяйственных земель, приносит вред различным сооружениям и дорогам. Борьба с оврагами стоит народному хозяйству больших средств.

Овраги образуются в результате стекания воды по естественным ложбинам на склонах, а также по различного рода искусственным выемкам. Процессам эрозии обычно предшествует смыв рыхлых отложений — делювия; затем ручейки воды врезаются в коренные породы склона, и эрозионные процессы развиваются в полной мере. При этом отмечается несколько характерных стадий. В первой стадии происходит образование промоин, достигающих в поперечном сечении нескольких десятков сантиметров. Поперечный профиль промоин в этой стадии сначала треугольный (У-образный), а затем к концу стадии — трапециевидный. Вторая стадия начинается с образования обрыва в вершине оврага. Высота этого обрыва различна: для рыхлых пород она не превышает 5 м, для устойчивых глинистых пород — 10 м и для лёссовидных — 15 м. Рост оврага идет за счет постепенного врезания его вершины путем регрессивной эрозии. Вместе с ростом оврага в длину происходит его углубление вплоть до встречи с другим оврагом или долиной реки; иногда устье оврага находится над подошвой склона и в этом случае овраг называется висячим. Врезание овражных долин в толщу рыхлых пород во второй стадии развития достигает глубины 20...30 м; склоны оврагов отличаются большой крутизной и подвержены осыпям. В третьей стадии вырабатывается продольный профиль равновесия оврага, склоны его у подошвы покрываются осыпью и зарастают, становясь вполне устойчивыми. К четвертой стадии

формирования оврага прекращается его рост и углубление. На дне оврага образуется слой аллювия, склоны выполаживаются и покрываются делювиальными отложениями.

Интенсивность роста оврагов зависит, главным образом, от количества выпадающих осадков. Большое значение при этом имеет степень устойчивости пород на размыв. В 1935 г. в г. Камышине (на Волге), расположенном на песчаных породах, в течение одной ночи в результате прошедшего ливня образовался овраг, протянувшийся вдоль улицы более чем на 1,5 км.

Овраги развиты повсеместно, однако в полупустынных областях с редкими, но сильными ливнями и слабой растительностью развитие оврагов происходит относительно быстрее. Овражная сеть сильно развита в областях, сложенных лёссами и лёссовидными суглинками.

Борьбу с оврагами проводят с помощью гидротехнических, мелиоративных, агротехнических и других мероприятий. На первой стадии развития оврагов следует закреплять промоины путем устройства запруд и подпорных стенок, а также закреплять овраги травами, кустарниковой и лесной растительностью. На второй стадии оврагообразования практикуется закрепление вершины оврага с помощью лотков и перепадов, а также принимаются меры по отводу поверхностных вод от вершины оврага посредством каналов и валов, устройства поглощающих колодцев (если вода в овраг поступает из вскрытого им водоносного горизонта). На третьей стадии применяют планировку и укрепление склонов оврага для предотвращения их оползания. Склоны засаживают травянистой и кустарниковой растительностью.

Эрозионные процессы в руслах рек. В гидродинамическом процессе эрозии главным действующим фактором является вода. Динамическое ее действие значительно усиливается, если она несет в себе твердый материал — песок, гравий, гальку, валуны. Материал, переносимый речной водой, истирает горные породы дна и берегов реки, способствует их более быстрому размыву. Истирание горных пород твердым материалом, переносимым рекой во взвешенном или влекомом состоянии, представляет процесс, сопровождающий процесс эрозии, и носит название *коррозии*. Речная вода имеет разный химический состав, она может растворять каменные соли, гипсы, известняки. Это растворяющее действие воды также сопровождается процессом эрозии. Следовательно, в ряде случаев основной геологический процесс может сопровождаться дополнительными процессами, усиливающими его в определенных условиях.

Эрозионная работа реки зависит от скорости ее течения, определяемой уклоном продольного профиля русла.

Реки, текущие с большой скоростью, способны переносить крупный обломочный материал размерами в поперечнике в несколько десятков сантиметров. В речной воде находится и растворенный материал, составляющий 20 ... 30% всего переносимого материала. На всем протяжении реки создается ее продольный профиль, кото-

рый вырабатывается в соответствии с живой силой водного потока, способного переносить и откладывать наносы или размывать в русле горные породы. Этот процесс продолжается до тех пор, пока профиль реки не приобретет вид равновесной плавной кривой, обращенной выпуклостью вниз, по отношению к которой линия уровня моря является касательной. Верхняя часть продольного профиля реки, начиная от ее истоков, имеет большую кривизну; течение реки здесь более быстрое. Ниже по течению продольный профиль реки уполаживается, и чем ближе к морю, тем течение реки становится медленнее и русло начинает формировать петлеобразные извилины — меандры.

Для эрозионного процесса в верховьях реки характерен глубокий размыв речного русла, или так называемая *глубинная эрозия*; для нижней части реки этот процесс уже не характерен, здесь преимущественное развитие получают процессы *боковой эрозии*. Боковая эрозия особенно интенсивно проявляется во время паводков, когда скорость размыва берегов достигает нескольких метров в сутки.

Размыв берегов и боковая планация обуславливают явление бифуркации рек — образование нового русла рядом со старым. К явлениям, связанным с процессом эрозии, относятся также и различные формы рельефа: речные террасы, косы, пороги, перекаты. Размывая горные породы в одном месте, река закономерно и в определенной последовательности откладывает их соответственно живой силе водного потока в другом месте. Так образуются различные фации речных отложений: русловая, пойменная, старичная. На выработку нормального продольного профиля равновесия существенное влияние оказывают вертикальные тектонические движения.

Весьма характерным является размыв русла в реках, перегороженных плотинами. Бурный выход воды через водосливные отверстия в нижний бьеф приводит к интенсивному размыву дна реки у низовой грани плотины. Для предупреждения больших размывов здесь устраивают специальные водобойные сооружения, гасящие энергию падающего водного потока.

9.5. СЕЛИ

К гидродинамической группе процессов относятся также селевые процессы, вызывающие явление селевых (грязекаменных) горных потоков. От эрозионных селевые процессы отличаются тем, что они возникают внезапно в результате выпадения ливней или при быстром таянии снега на крутых, лишенных растительности склонах, покрытых рыхлым слоем продуктов разрушения горных пород. Сели движутся с большой скоростью, легко переносят камни диаметром 2...3 м, влекут огромное количество твердого материала, составляющего 75...80% общего объема потока. Высота отдельных грязекаменных валов достигает иногда нескольких метров. После прохождения селей часто остаются характерные следы эрозии —

глубокие рытвины и овраги. Однако в классификации геологических процессов эрозионные и селевые процессы выделяются в качестве самостоятельных, так как явления, которые они обуславливают, отличаются своими специфическими и неповторимыми особенностями. К таким явлениям относят, например, затвердевшие грязекаменные потоки, представленные в форме высоких валунов, и огромные селевые накопления валунно-глыбового материала, напоминающие экзотические валуны, оставленные льдами. Грязекаменные потоки представляют большую опасность для строений, дорог и др.

Во время строительства Эзминской ГЭС на р. Тереке в 1947 г. продолжительные ливни вызвали селевой поток, пронесшийся по долине этой реки от села Коби до Джераховского укрепления, и в результате — огромные разрушения мостов и дорог. Грязекаменный поток забил плотной массой водосбросную шахту и всю начальную часть эзминского деривационного туннеля. Известны разрушения в Алма-Ате, происшедшие в 1921 г., а также разрушения в Ереване в 1946 г., вызванные селевыми потоками.

Различают несколько динамических типов селевых потоков. Селевые потоки, насыщенные, главным образом, песком, гравием, галькой, валунно-глыбовыми материалами и характеризующиеся текучей жидкой консистенцией, относятся к типу водокаменных или грязекаменных турбулентных потоков. Скорости таких потоков значительны.

Селевые потоки, в которых пылевато-глинистый материал, находясь в большом количестве, связывает воду, отличаются вязко-текучей грязекаменной консистенцией и относятся к типу связных или структурных потоков. Движение их происходит медленнее, селевая масса затвердевает как глинобетон, сохраняя структуру. Сели этого типа при движении не распластываются, не растекаются, как водный поток, а движутся валом, достигающим высоты 4...5 м.

При установлении селеопасности на территории строительства, особенно в горных районах, производят специальные обследования распространения очагов твердого стока в верхней части бассейна реки. Такими очагами часто являются накопления осыпей, вулканический материал или нагромождения моренных образований. Так, например, селом в долине р. Терека в 1947 г. был перенесен вулканический материал приказбекского вулканического конуса (потухший вулкан Кабарджин), моренные отложения Девдоракского и Гергетского ледников и осыпи по левобережью Терека на участке от села Казбеги до села Сиони.

Очаги селевых материалов могут накапливаться в результате выветривания, делювиальных процессов, обвалов и оползней. Сели — явление эпизодическое, они возникают по мере накопления продуктов выветривания. В горных областях при наличии многочисленных источников горного стока частота повторяемости селей в большей мере зависит от количества ливней и их интенсивности. Следует, например, напомнить, что в 1948 г. в Фергане сели повторялись после ливней 15 раз.

Движение селевых потоков, как правило, происходит прерывисто, отдельными волнами, что объясняется скоплением селевых материалов в узких проходах. Возникают сели не только в руслах действующих водотоков, но и в тех местах, где водные потоки образуются только при выпадении дождей или при бурном таянии снега.

Насыщенность твердым материалом турбулентных селевых потоков составляет 50...100 кг на 1 м³ воды, а структурных потоков — до 1000 кг на 1 м³ воды (или до 50% объема всей селевой массы). Сели выносят сотни тысяч и миллионов кубических метров грязекаменного материала.

9.6. ПЕРЕРАБОТКА БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ. МОРСКАЯ АБРАЗИЯ

К гидродинамической группе геологических процессов относится также абразия — механическое разрушение (срезание) морского берега волнами и течениями. В результате этих процессов образуются абразионные платформы, пляжи, береговые валы, срезанные полосы берега, подводные осыпи и валы, аккумулятивные террасы, бары, косы и пересыпи, волноприбойные ниши.

Скорость абразии зависит от геологического строения берега и силы морских волнений. Волнения представляют собой перемещения частиц воды по почти замкнутым круговым орбитам в вертикальной плоскости. Поступательного движения воды в горизонтальной плоскости, за исключением береговой полосы, не происходит. Волны на поверхности воды обусловлены действием ветра. По В. П. Зенковичу, средняя высота волны при 4-балльном ветре достигает 2,1 м, а при 10-балльном — 10,2 м. Соответственно длина волн увеличивается от 51 до 195 м. При подходе к берегу происходит трение воды о дно и волна деформируется, высота ее возрастает, а длина уменьшается. С замедлением движения волны фронтальная часть ее становится круче и она опрокидывается, расходуя полностью кинетическую энергию. Образуется прибой. При подходе волны к приглубинному кругу берега деформации ее не происходит; достигая берега и встречая на пути преграду, волна поднимается до высоты, в два раза превышающей ее нормальную высоту, и, израсходовав энергию удара, растекается вдоль берега. Волнения в море распространяются до глубины 100 м, а в океанах до 200 м. Образование волн связано также и с землетрясениями. Такие волны называются цунами; они возникают периодически и достигают большой высоты и длины.

Приливы и отливы, т. е. повышение и понижение уровня воды в одном и том же месте, обусловлены притяжением Луны и Солнца. Высота приливной волны достигает иногда нескольких метров, благодаря чему энергия этих волн используется на приливных электрических станциях. Приливы и отливы переносят взвешенный материал и размывают дно и берега в заливах и проливах.

Морские течения в морях и океанах создаются в связи с постоянными ветрами (пассаты и муссоны) и различной температурой воды в разных климатических областях Земли. Течение морских и океанских вод захватывает огромные пространства и в ширину, и в глубину. Скорость этих течений, например Теплого Гольфстрима и Куро-Сиво, равняется 2,5 м/с, т. е. такой скорости, с какой течет Волга. Волнения и течения ниже 200 м отсутствуют; надо, однако, заметить, что, по последним данным, даже на глубинах от 1000 до 3000 м скорость движения воды достигает 25... 35 м/с.

Морские и океанские течения играют большую роль в процессах осадконакоплений; они имеют также и огромное биогенное значение, влияя на распространение бентоса и планктонных организмов и являясь поставщиком кислорода в глубины морей и океанов.

Ударная сила волн при больших штормах в океанах достигает 3,8 кПа, а во внутренних морях 1,5 кПа.

Разрушающая работа волн происходит не только на берегах океанов и морей, но и на берегах озер и искусственных водохранилищ. Выше отмечалось, что в приглубинных береговых зонах водоемов волны не растрачивают свою энергию, но трение воды о дно и вся сила движения волн обрушиваются на берег. Абразионные процессы при этом формируют абразионную платформу. При небольших уклонах береговой зоны дна водоемов энергия волн затрачивается на преодоление трения, волна деформируется и оказывается способной лишь к переносу наносов на пляж.

Интенсивность абразионных процессов зависит от высоты и направления волн, конфигурации, рельефа и геологического строения берега. Наибольшая сила удара волны отвечает ее прямому (перпендикулярному береговой линии) направлению: меньшей силой удара отличаются волны, подходящие к берегу под острым углом. Приливы и отливы играют существенную роль в абразионном процессе. Приливы затапливают прибрежные полосы, достигающие часто нескольких километров. В пределах этих полос открывается путь для движения волн и происходит интенсивное выветривание горных пород, подвергающихся попеременному увлажнению и высыханию, нагреванию и охлаждению. Скорость размывания берега, как уже говорилось, значительно уменьшается на самом пляже; при уничтожении пляжей, например, в связи с созданием водохранилищ, когда поступление к морю твердого стока рек резко уменьшается, морской берег начинает быстро разрушаться.

На выровненных берегах, где простираение пород совпадает с береговой линией, абразионные платформы имеют большую протяженность. При расчлененном берегу абразионные его участки располагаются у мысов, аккумулятивные в бухтах. Объясняется это рефракцией или изгибанием фронта волны при ее набегании на берег. При направлении движения волны под острым углом к ровной береговой линии разные части волны имеют различную

скорость, так как волна изгибается и растягивается, разворачиваясь своей фронтальной частью к берегу. При подходе к бухте волны сильно растягиваются благодаря трению воды о берег и создаются условия для накопления наносов в центральной части бухты. У мысов волны сжимаются, и образующаяся при этом энергия усиливает абразионный процесс.

Интенсивность разрушения, скорость образования абразионной платформы и абразионного профиля зависит от того, сложен ли берег мягкими, рыхлыми породами или породами твердыми, скальными. При разрушении рыхлых пород образуется песчаный материал, при разрушении скальных пород — галечники. Скорость размывания зависит и от условий залегания горных пород. Установлено, что она больше при горизонтальном залегании слоев или их небольшом уклоне в сторону водоема. Волны, истирая и измельчая породы, шлифуют, соскабливают поверхность абразионной террасы, и она приобретает некоторый уклон к морю. Вдоль же подошвы уступа абразионной террасы формируется пологая отмель. При увеличении абразионной платформы работа волн постепенно ослабевает и совсем прекращается, когда ее профиль приобретает на всем протяжении уклон, уравнивающий размывающую силу волн. Как и при процессах эрозии, такой профиль отвечает условиям равновесия и также называется *предельным профилем равновесия*.

В настоящее время различные области берегов морей и океанов находятся в стадии, соответствующей предельному профилю равновесия, наряду с этим происходит и активное формирование береговых абразионных платформ. Профиль равновесия может нарушиться вследствие изменения сложившихся динамических условий, например в связи с вертикальными тектоническими движениями. Поднятие материка при выработанном профиле равновесия не активизирует абразионные процессы, так как в зоне приобья остается подводная часть платформы с малым уклоном. В результате появляются лагуны, береговые валы и бар. Но при опускании материка и трансгрессии моря абразионные процессы активизируются, ширина абразионной платформы может расшириться до нескольких километров, соответственно отступает и береговой обрыв.

Абразионные процессы наиболее существенное значение приобретают на берегах крупных водохранилищ, создаваемых высокими плотинами. Если на берегах озер, морей и океанов эти процессы протекают в естественно сложившейся обстановке, то на берегах искусственных водохранилищ они начинают развиваться в совершенно новой континентальной обстановке. Процессы абразии на берегах водохранилищ протекают в связи с этим значительно интенсивнее. Каждое новое водохранилище становится зоной формирования нового профиля береговой платформы в ее подводной и наземной частях. Происходит переработка берегов, абразия полосы, достигающей в зависимости от ряда факторов сотен метров, а иногда и нескольких километров.

Переработка берегов водохранилищ влечет за собой необходимость либо сносить, либо защищать расположенные на берегах населенные пункты, промышленные предприятия, заводы, железные дороги и др. Поэтому вопросы переработки берегов водохранилищ являются весьма важными для строителя-гидротехника.

В практике гидротехнического проектирования особое место отводится расчетам, на основании которых заранее устанавливают необходимую максимальную ширину переработки берега в течение

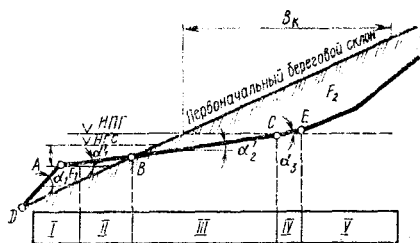


Рис. 9.1. Переработка берегов водохранилищ:

I — уступ отмели; II — аккумулятивная отмель; III — преимущественно абразивная отмель; IV — зона наката; V — надводный устойчивый откос

полнениями Д. Н. Раша, позволяет построить новый профиль берега, переработанного в течение 10 лет (рис. 9.1). На топографический профиль берега (до его переработки) наносят данные геологии и гидрогеологии, а также указывают физико-геологические явления, например обвалы, оползни, суффозионные воронки и др. Отмечают уровень нормального подпертого горизонта (НПГ) и от него вверх откладывают высоту наката волны h_n , м, определяемую по формуле Н. Н. Джунковского:

$$h_n = 3,2kh_n \operatorname{tg} \alpha,$$

где k — коэффициент, зависящий от шероховатости поверхности, по которой взбегает волна; h_n — высота волны, м; α — угол наклона бичевника.

Высота волны всегда известна гидрогеологической службе проектирования, а высоту наката волны принимают приблизительно равной 0,3 высоты волны для песчаных и 0,5 для галечных берегов.

Г. С. Золотарев рекомендует высоту наката принимать в два раза меньшей, чем она получается по указанной формуле. На профиле от линии НПГ вниз откладывают отрезок, равный $1,5h_n$ при легкоразмываемых песчаных и суглинистых породах или $2h_n$ при легкоразмываемых лёссах. Через полученную точку проводят горизонтальную линию — отмечают глубину, указывающую на границу размыва в предположении, что ниже будет накапливаться отмель. На эту горизонтальную линию произвольно наносят точ-

первых пяти и десяти лет; отсюда определяют стоимость затрат, связанных с ущербом от переработки берегов водохранилища, и предусматривают эти затраты в генеральной смете строительства. Методы расчетов были предложены инженерами-геологами В. А. Ширяновым, Е. Г. Качугиным, Г. С. Золотаревым, Л. В. Розовским и инженерами-гидротехниками Б. А. Пышкиным, Н. Е. Кондратьевым и др.

Метод расчета, предложенный Г. С. Золотаревым с до-

ку A , фиксирующую бровку уступа отмели, — точка перелома на кривой поверхности отмели. На топографическом профиле от точки A к точке D проводят линию уступа отмели под углом α_4 в сторону водохранилища. Угол α_4 для песчано-глинистых отложений принимают равным $10 \dots 12^\circ$, для крупнопесчаных и гравийных $18 \dots 22^\circ$. От той же точки A проводят линию поверхности отмели под углом α_1 в сторону берега до пересечения с точкой B на топографическом профиле. Прямая AB ограничивает поверхность аккумулятивной части отмели, а площадь треугольника ABD равна площади отмели (плоская задача) F_1 .

Таблица 9.1

Грунт	Углы отмели		Углы зоны наката, град		% аккумуляции объему
	для 10- летней стадии	для ко- нечной стадии	для 10- летней стадии	для ко- нечной стадии	
Пески тонко- и мелко- зернистые	$1^\circ 30'$	1°	5	3	5 ... 10
То же, разно- и сред- незернистые	3°	2°	6	4	10 ... 15
То же, крупнозерни- стые и гравий	5°	3°	10	6	15 ... 20
Галечник и щебень с песчаным заполнителем	$10 \dots 12^\circ$	$8 \dots 10^\circ$	$18 \dots 20$	$15 \dots 18$	20 ... 35
То же, с глинистым за- полнителем	$8 \dots 10^\circ$	$6 \dots 8^\circ$	$15 \dots 18$	$14 \dots 16$	20 ... 35
Супеси	$1^\circ 30'$	1°	4	3	3 ... 5
Лёссовидные грунты	$1^\circ 30'$	1°	4	2	До 3
Суглинки легкие	$1^\circ 30'$	1°	5	3	» 2
То же, средние и тя- желые	—	—	—	—	Практически отсутствуют
Глины четвертичные	3°	2°	7	5	То же

Величину α_1 определяют по данным наблюдений над уклонами отмелей в аналогичных рассматриваемых условиях. Значения этого угла по данным Д. Н. Раша, приведены в табл. 9.1.

От точки B под углом α_2 проводят прямую до пересечения с точкой C на линии НПГ, очерчивающую поверхность абразионной отмели. Значения угла α_2 устанавливают наблюдениями в аналогичных условиях или же берут по табл. 9.1. От точки C под углом α_3 проводят в сторону берега прямую до пересечения с точкой E на линии, отмечающей высоту наката волны. Угол α_3 принимают для легкоразмываемых пород $3 \dots 5^\circ$, для среднеразмываемых $6 \dots 10^\circ$, для слаборазмываемых $10 \dots 20^\circ$. Далее строят профиль надводной части берегового склона. Для этого из точки E под углом $30 \dots 33^\circ$ к точке C на прямой проводят линию до $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$ высоты склона. От точки E под углом $60 \dots 70^\circ$ проводят линию к точке N

на поверхности земли. Площадь фигуры $BCEFN$ представляет площадь F_2 размытой части берегового склона.

Планиметром определяют площади F_1 и F_2 . Если отношение F_1 к F_2 не равно коэффициенту аккумуляции, величина которого составляет от нескольких процентов для глинистых пород до 20...50% для песчаников и 60...70% для гравийно-галечных пород, то, следовательно, точка A была зафиксирована не на месте и построение к расчету надо делать заново. При этом в случае увеличения отношения F_1/F_2 надо переместить точку A вправо, а при уменьшении этих величин — влево.

Для берегов, сложенных глинистыми породами, у которых наносы сносятся течением или волнами, точка A фиксируется на пересечении линии размыва с линией первоначального профиля, т. е. принимается целиком абразионный тип отмели.

При построении профиля для конечной переработки берега по методу Г. С. Золотарева кроме линии НПГ на профиле отмечают также горизонт навигационной сработки водохранилища в маловодный год. Для этого на профиле линию размыва наносят ниже горизонта навигационной сработки на две-три высоты волны и на этой линии фиксируют точку A , как это делалось для профиля 10-летней переработки. Высоту наката волны h_n в этом расчете принимают в полном соответствии с формулой Н. Н. Джунковского, а углы α и α_1 — несколько меньшими. Береговой откос выше НПГ наносят по аналогии с откосами, характерными для таких же пород.

Е. Г. Качугин рекомендует для определения объема размытой породы (в m^3) при переработке берега расчетную формулу, в основу которой им положены значения суммарной величины энергии волн и степени размываемости пород:

$$V_{\pi} = k_p k_6 W t^b,$$

где k_p — коэффициент размываемости, численно равный объему размытой породы, m^3 , в первый год размыва, который приходится на единицу работы волны, т·м; k_6 — коэффициент, учитывающий высоту берега и характеризующий потерю энергии волн на отмели; при высоте берега 30 м и более $k_6 = 1$; $k_6 = h_6 C$, где h_6 — высота берега (берется как средневзвешенная по длине участков берега с разной высотой); C — коэффициент, зависящий от размываемости пород, находится в пределах от 0,025 для легкоразмываемых и до 0,12 для трудноразмываемых пород; W — средняя многолетняя энергия ветровых волн, определяемая с помощью графиков А. П. Браславского, т·м; t — время размыва, годы; b — показатель степени, зависящий от скорости затухания размыва и скопления у берега осадков; в зависимости от ширины аккумулятивной отмели находится в пределах от 0,95 при отсутствии этой отмели и до 0,45 при ее наибольшей ширине; показатель b в среднем составляет 0,7.

Е. Г. Качугин подразделяет все породы по коэффициенту размываемости (C) на четыре класса (табл. 9.2). По формуле Е. Г. Ка-

чугина можно вычислить объемы размытой породы для различных по времени периодов. Ширина полосы размыва при этом не определяется. Вопрос о ширине размыва решается особо, для чего требуется точно наметить отметки верхнего и нижнего уровней размыва.

Построение профиля начинают от точки пересечения поверхности склона линий нижнего горизонта размыва. Далее построение производят таким образом, чтобы фигура, ограничивающая объем

Таблица 9.2

Класс пород	Характеристика пород	c
I	Породы с очень легкой размываемостью: пески мелкозернистые, супеси легкие, пористые, лёссовидные	0,0065 ... 0,003
II	Породы с легкой размываемостью: пески среднезернистые, суглинки пористые и рыхлые, суглинки легкие и супеси со щебнем	0,003 ... 0,001
III	Породы со средней размываемостью: суглинки тяжелые, суглинки с валунами, глины, пески с гравием и галькой	0,001 ... 0,005
IV	Породы с трудной размываемостью: песчаники глинистые, галечники с песком и валунами, глина с прослоями опок	0,0005

смытых пород, для разных по времени периодов отвечала объему пород вычисляемого периода $V_{д5}$, $V_{д50}$, $V_{д100}$. Угол подводного откоса α принимают либо по аналогам, либо расчетом по данным механики грунтов. В качестве вспомогательных данных Е. Г. Качугин приводит предельные значения углов откоса естественных склонов, сложенных различными породами (табл. 9.3).

Построение профиля в его верхней части основывается на данных о высоте стенки обрушения откоса, которая составляет в среднем 3 м для песков, 3...7 м для супесей, 5...9 м для лёссов, 3...6 м для влажных суглинков и глин и 7...15 м для сухих суглинков и глин.

Механизм абразионного процесса, обуславливающего явление переработки берегов водохранилищ, чрезвычайно сложен, поэтому предлагаемые расчетные формулы не могут учесть всей совокупности факторов, влияющих на течение этого процесса. Естественно, что в этой связи получаемые значения носят условный характер и часто не совпадают при расчетах по разным формулам. Так, найденная по указанным формулам величина отступления берега на Цимлянском водохранилище за десятилетний период оказалась превзойденной уже в течение пяти лет. Однако, как уже указывалось, недостатки методов расчета не исключают ценности их использования при проектировании.

Наиболее точными, но весьма громоздкими методами оценки явлений переработки берегов водохранилищ являются методы ин-

женерно-геологических аналогий. Исследование явления в природной обстановке, накопление фактического материала для геологической диагностики несомненно могут дать значительно более точные результаты, чем расчеты по формулам, в которых из комплекса факторов учитываются только один-два важнейших.

В изучении переработки берегов водохранилищ Л. Б. Розовский стал на путь решения этой задачи методом теории подобия. Им составлено уравнение, описывающее связь между прогнозируемой величиной переработки берега и величинами, характеризующими отдельные факторы процесса переработки. На основании анализа

Таблица 9.3

Порода	Угол откоса, град, для пород	
	неводоносных	водоносных
Пески:		
крупнозернистые и среднезернистые	32...35	26
мелкозернистые	40	23
глинистые	40	20
Супеси	35...40	20...22
Лёссы	38...40	18...20
Суглинки	45	15...20
Глины	50	5...10

размерностей им были определены безразмерные количественные параметры геологического подобия. Для взятых аналогов определены количественные критерии геометрического подобия, гидродинамического подобия, подобия вещественного состава и подобия аккумулятивных процессов. Этот математический метод может дать более точные результаты и заслуживает внимания.

Борьба с явлениями, возникающими вследствие абразионных процессов и, главным образом, на берегах искусственных водохранилищ, осуществляется комплексными методами. Прежде всего, где это может оказаться эффективным, применяют планировку береговых склонов, посадку деревьев, кустарников и травянистой растительности. Растительность насаждают и в подводной части, что способствует гашению волн; естественно, что при этом применяют влаголюбивую и водяную растительность. Берегоукрепительные работы производят посредством каменной наброски, мощения, бетонных и асфальтовых покрытий, свайных и шпунтовых ограждений. В подводной части устраивают фашинные тюфяки, в районах больших волнений — волноломы и буны. В каждом отдельном случае решения в проекте защитных мероприятий определяют инженерно-геологическими условиями.

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

10.1. ВЕТРОВОЕ РАЗРУШЕНИЕ

К аэродинамическим или эоловым (ветровым) процессам относятся *навевание* и *развевание*. Их соответственно можно назвать процессами аккумуляции и дефляции. Порождаемые ими явления представлены многообразными формами рельефа, генетически связанными с типом пород и климатическими условиями места. В областях распространения лёссов и лёссовидных пород встречаются причудливые формы эоловых столбов, останцев и ниш выдувания. В Китае наблюдаются глубокие, до 100 м, щели, возникшие вдоль колен дорог. Эти и другие формы рельефа, связанные с развеванием, многочисленны и известны не только для таких пород, как лёссы, но и для очень прочных скальных пород.

Формы рельефа, связанные с навеванием, возникают следующим образом. Перенос ветром частиц горных пород, образовавшихся при разрыхлении и распаде пород вследствие выветривания, а также являющихся продуктом отложения морей, озер и рек, и скопление этих частиц в местах, где сила ветра становится меньше, создает аккумулятивные формы рельефа. При скорости ветра 6,5 м/с переносится пыль и тонкозернистый песок с размером частиц до 0,25 мм; при скорости 10 м/с — размером частиц до 1 мм, а при 20 м/с — уже песок размером частиц 4...5 мм. При урагане переносятся мелкие камушки. Процесс навевания состоит не только в накоплении переносимого ветром материала, но и в его переработке. Для эоловых песков характерна в связи с этим окатанность частиц, а для твердых кварцевых и полевошпатовых песчинок — и блестящая полированная поверхность и, кроме того, бо́льшая отсортированность, чем у песков водного происхождения.

Эоловые пески состоят почти целиком из частиц размером 0,2...0,05 мм и по минералогическому составу относятся к твердым устойчивым на истирание минералам, таким, как кварц и полевые шпаты. В эоловых песках менее твердые минералы отсутствуют или содержатся в весьма малых количествах. Эоловые пески переносятся на небольшие расстояния, а пылеватые частицы разносятся ветром на огромные расстояния. Пески, переносимые ветром, навеваются в областях пустынь и полупустынь, а пыль — на их окраинах, в степях и на высоких сводовых поверхностях гор.

Накопление пыли приводит после сложных процессов облессования к образованию лёсса — неслонстой, светло-желтой или пылево-желтой, легко растираемой пальцами породы, состоящей из частиц размерами 0,05...0,01 мм (не менее 50%). Характерными структурными особенностями лёсса являются крупные вертикальные поры в виде трубочек и наличие известковых журавчиков. Области распространения лёсса являются областями аккумуляции. Но откуда шло навевание лёссовой пыли, или, другими словами,

где находились и находятся области развевания? Нам представляется, что для украинских и предкавказских лёссов такая область лежала в пределах огромной площади Заволжья, охватывающей пространство от северных берегов Каспия до г. Стерлитамака на р. Белой. Область эта была занята в хвалынское время морем. Сокращение Хвалынского моря должно было привести к господству антициклональных движений воздушных масс. Освобождающиеся при этом от воды поверхности морского дна развевались, служа источником материала для процессов навевания. Предполагаем, что эта гипотеза о происхождении украинских и предкавказских лёссов в какой-то мере близка к истине.

Таким образом, мы признаем за лёссами золотое происхождение. Трудно вообще представить себе, каким образом незолотое происхождение лёсса могло бы объяснить, например, его нахождение на высоких горных массивах Предкавказья — Терском и Кабардино-Сунженском хребтах, принимая при этом во внимание существование такой водной преграды, какой была для территории названных хребтов р. Терек еще задолго до образования лёссов. Тем не менее все-таки лёссы, конечно, не только золотого происхождения. Несомненно, что в образовании их принимает участие и водный фактор.

10.2. БАРХАНЫ И ДЮНЫ

Барханы. Навевание песков создает пустыни. В Северной Африке их называют эргами, в Средней Азии — кумами, в Предкавказье — бурунами. Площади пустынь огромны. Пустыня Сахара занимает площадь более 1 млн. км², пустыни Каракумы и Кызылкумы в Средней Азии более 800 тыс. км².

Строение поверхности пустынь находится в связи с динамикой атмосферы, т. е. с направлением и скоростью движения ветра, режимом ветра, характером вихревых потоков. Поэтому процессы навевания и развевания относят к аэродинамическим процессам.

Процессы навевания обуславливают возникновение своеобразных явлений, связанных с образованием подвижных форм рельефа. В пустынях к таким явлениям относятся прежде всего барханы, представляющие собой песчаные асимметричные формы рельефа, расположенные перпендикулярно главному направлению ветра. Барханы имеют форму серпа; концы этой формы загибаются вперед в направлении движения ветра и утоняются наподобие рогов. Наветренный склон бархана пологий (10...15°) и длинный, а подветренный — короткий и крутой (30°). Высота барханов находится в пределах от 1 до 30 м. Барханы, соединяясь друг с другом, образуют в пустыне барханные цепи. Барханы и барханные цепи передвигаются путем перекачивания песка с пологого наветренного склона к подножью крутого подветренного.

Если ветры в течение всего года дуют в одном и том же направлении, то барханы и барханные цепи быстро перемещаются по пустыне и при этом формируются продольные ветру барханные

гряды. Если же в течение одного сезона ветер дует в одном направлении, а в другой сезон — в противоположном, то перемещение происходит слабо и образуются поперечные ветру барханные гряды. Они представляют узкие и длинные параллельные между собой полосы. Высота их составляет 10...60 м, а расстояние между грядами 100...2500 м. Межгрядовые понижения бывают перегорожены поперечными перемычками и таким образом создаются грядово-ячеистые пески. Ячейки или котлованы являются очагами выдувания.

В пустынях широкие пространства покрыты также бугристыми и кучевыми холмами. Высота таких песчаных холмов от 1 до 8 м, навевание их происходит у кустов растительности, задерживающих переносимый ветром песок.

Дюны. На побережьях морей и озер навеваются асимметричные удлиненной формы холмы или валы — дюны, располагающиеся поперечно к направлению господствующего ветра. В начальной стадии формирования эти холмы возникают у кустов растительности. Дюны передвигаются так же, как и барханы, но скорость их передвижения больше. Высота дюн от 15 до 20 м, но иногда они достигают 100 м и более. Рельеф дюнных пространств также в отдельных местах состоит из котловин выдувания. При передвижении дюны приобретают часто изогнутую форму, наталкиваясь своими краевыми частями на кусты растительности. Такие дюны называют параболическими.

На оголенных песках пустынь и пространствах, занятых дюнами, можно наблюдать явление эоловой ряби, которая имеет большое сходство с рябью на поверхности воды.

10.3. КАМЕНИСТЫЕ ПУСТЫНИ

Выдувание, или дефляция, представляет процесс, развивающийся одновременно с процессом навевания или предшествующий ему. Ветер в пустынях выдувает в массивах горных пород из всех щелей и пустот продукты выветривания, находящиеся в рыхлом сухом состоянии. Свободные щели становятся ареной интенсивного выветривания и накопления нового материала для выдувания.

Дефляция имеет избирательный характер, она приводит к разрушению и выдуванию мягких, непрочных пород и при воздействии на слоистые массивы вырабатывает ниши, выступы и различные другие формы вроде качающихся скал, грибообразных останцев и пр. Выдувая песчаный материал в пустынях, ветер обнажает коренные породы, на которых остаются только одни крупные куски и глыбы. Создаются каменистые пустыни, или гаммады. Куски и глыбы пород, отделившиеся от коренного ложа, приобретают пустынный загар, который представляет собой черный налет в виде тонкой корочки, состоящей из железо-марганцевых выпотев из породы. Загар этот называется лаком пустыни.

По-видимому, вследствие процессов дефляции в аридных областях можно наблюдать и глубокие замкнутые котловины, по-

верхность которых лежит ниже уровня моря. Внутри этих котловин, на их дне, наблюдаются залежи солей. Дно котловин сложено рыхлым, легко развеваемым слоем солончака — образования, характерного для пустынь. Рыхлые солончаки содержат, главным образом, сернокислые соли. Распространены они на больших площадях и носят название солончаковых пустынь или шоров. Дефляция, которая проявляется на таких солончаковых площадях в виде штопороподобных смерчей, образуемых конвекционными воздушными потоками, поднимает в атмосферу массу пыли. Смерчи часто возникают в ячеях и котловинах песчано-ячеистого рельефа и в течение некоторого срока выносят из них восходящими потоками весь рыхлый материал.

Дефляция распаханых почв, известная в нашем Заволжье, совершается сильными ветрами — суховеями, идущими из юго-восточных прикаспийских пустынь. Она влечет за собой накопление на больших площадях округлой формы бугров высотой от 2 до 4 м.

10.4. КОРРОЗИЯ

Ветер, двигаясь с большими скоростями, переносит мелкие и крупные твердые песчинки, которые истирают и сверлят скальные горные породы. Этот процесс называется коррозией (обтачивание). В наибольшей мере коррозия поражает нижние подошвенные зоны склонов и обрывов и отдельно стоящих массивов, результатом чего являются нависающие скалы, ниши, небольшие пещеры, котлы, скалы-останцы, грибообразные формы скал, причудливые колонны, качающиеся камни. Весьма своеобразные явления в виде ячеистых поверхностей, напоминающих пчелиные соты, также образуются вследствие вращательного, высверливающего действия песчинок. Коррозия и дефляция обуславливают формирование трехгранников и многогранников с отполированными гранями. Эти же процессы создают глубокие до 6 м борозды и желоба, отделяющиеся друг от друга параллельными гребнями; такого рода явления называют *ярдангами*.

Таким образом, в рассмотренных аэродинамических процессах различают процессы навевания, или ветровой аккумуляции, и процессы дефляции, или развевания и выдувания. Процессам дефляции способствуют процессы выветривания и коррозии. В процессах выветривания заметную роль играют процессы десквамации — чешуйчатого отслоения поверхности скальных горных пород, в результате чего у подножья склонов накапливаются еще не развеянные ветром валики и конусы, состоящие из легких чешуек.

Ветровые процессы приносят огромный вред народному хозяйству. Имеются области, богатые по своим почвенным и благоприятные по климатическим условиям, но находящиеся под угрозой быть погребенными под песками. К таким областям, например, относятся плодороднейшие районы левобережья р. Терека, на которые навдвигаются песчаные буруны Терско-Кумской полупустыни. Пески, навеваемые ветром, засыпают дороги и населенные пункты. Деф-

ляция разрушает сооружения, трубопроводы, дамбы и насыпи. Заносы песком строительных площадок тормозят производство строительных работ, утяжеляют труд рабочего.

Для борьбы с ветровыми явлениями применяют насаждения растительности. Одной из радикальных мер борьбы с рассматриваемым явлением служат лесозащитные полосы. Наряду с фитомелиоративными мероприятиями производят работы по устройству защитных ограждений: заборов из камыша, деревянных щитов и др. В качестве одного из эффективных способов закрепления песков А. И. Знаменским предложен метод безаккумуляционного переноса песков, основанный на законах аэродинамики. Метод этот заключается в создании вдоль дорог и каналов защитных объектов отсечной полосы с определенным профилем и покрытием поверхности фиксирующими материалами, например смесью песка с битумной эмульсией, смесью глинистых и песчаных материалов с продуктами переработки нефти и др.

Среди защитных мероприятий, предупреждающих вредные последствия физико-геологических процессов, особое значение имеет профилактика. Для борьбы с развеванием необходимо принимать меры по защите естественного растительного дернового покрова, леса, кустарниковой растительности, а также по сохранению расположенных близ защищаемого объекта водоемов: рек, каналов, озер. К профилактическим мерам относят также запрещение разработки карьеров, строительных выемок для дорог и других сооружений, если такого рода работы не обеспечены сразу же действенной защитой против развевания.

Глава 11

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

11.11. МЕРЗЛОТНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

К теплофизическим экзогенным процессам относят охлаждение, замерзание, промерзание, протаивание и оттаивание горных пород. Магматические и радиоактивные процессы также являются теплофизическими, но это процессы эндогенные.

Теплофизические процессы обуславливают на Земле многообразные явления мерзлотного комплекса: многолетнюю мерзлоту, бугры пучения, гидролаколиты, ледяные бугры, термокарстовые воронки, наледи, могильниковые мари, аласы, каменные многоугольники и моря, просадочность и др. Кроме того, эти процессы обуславливают явления динамического характера — солифлюкцию, каменные потоки, курумы, сезонную пływунность рыхлых пород и др.

Мерзлотные процессы и мерзлотные явления имеют огромное значение в строительном деле, а кроме того, по площади распространения охватывают территорию, составляющую половину

СССР. Здесь мы рассматриваем эти процессы только в аспекте их прямого отношения к вопросам инженерной геологии.

Крупный советский мерзлотовед П. Ф. Швецов считает, что мерзлые зоны земной коры сформировались в результате теплообмена и развиваются за счет него в системе литосфера — почва — атмосфера (и мировое пространство) при определенных физико-географических и геологических условиях. Накопление холода в верхней зоне земной коры — аградационный процесс — или его потеря — деградационный процесс — являются не чем иным, как результатом особенностей теплообмена в отдельных частях земной поверхности. Эти особенности теплообмена находят свое отражение в температурном поле литосферы, в ее термодинамической оболочке, получившей название экзотермозоны. Термодинамические условия складывались в литосфере в течение длительного геологического развития Земли и определялись сложными процессами взаимодействия внешних и внутренних источников тепловой энергии как на поверхности, так и внутри Земли.

Геокриологические (мерзлотные) процессы зависят, главным образом, от теплового баланса, складывающегося за счет количества поступающей на Землю солнечной энергии: из этого количества энергии некоторая часть отражается, достигнув Земли, в мировое пространство, большая же часть превращается в тепло, расходуемое на эффективное излучение земной поверхности, изменение агрегатного состояния влаги, теплообмен с атмосферой, а также на тепловой приток в толщу земной коры. Тепловой приток к поверхности Земли из ее недр составляет только десятитысячные доли солнечной энергии и, по-видимому, никакого существенного влияния на тепловой баланс поверхности и верхней зоны Земли не оказывает. Все теплофизические процессы на земной поверхности происходят за счет лучистой энергии Солнца. Те же процессы внутри Земли, обуславливающие явления магматизма, происходят за счет энергии радиоактивного распада. Физическая сущность тепловых процессов остается одной и той же и в экзо- и эндотермозонах. Явления, к которым приводят эти физически однородные процессы, различны по своей форме и характеру и имеют широкий диапазон от мерзлоты в геокриозоне до магматизма в глубоких зонах земной коры.

11.2. МНОГОЛЕТНЯЯ МЕРЗЛОТА

К мерзлотным явлениям относят: бугры пучения, гидролакколиты, ледяные бугры, термокарстовые воронки, просадочность, наледи, могильниковые мари, аласы, каменные многоугольники, каменные потоки, солифлюкцию, курумы, сезонную плавунность. Все эти явления могут представлять серьезную опасность для строительства любых сооружений, в том числе гидротехнических.

К мерзлым породам относят такие породы, которые имеют нулевую или отрицательную температуру и содержат включения льда (СН 91—60). Вечномерзлыми породами на-

зывают мерзлые породы, не оттаивающие в продолжение нескольких лет, поэтому правильное назвать их многолетнемерзлыми.

Для многолетнемерзлых пород характерно следующее широтно-зональное распределение: сплошное распространение на территории Крайнего Севера СССР; прерывистое распространение в сопредельной зоне, расположенной к югу от Крайнего Севера; островное распределение в юго-восточной области СССР, вплоть до Монголии и Китая, и на огромной территории левобережья Амура от Хабаровска до Татарского залива.

Мощность мерзлых толщ пород в пределах указанных областей их развития непостоянна и зависит от физико-географических условий и климатической зональности. В зоне сплошного распространения мерзлых пород их мощность достигает более 100 м, а за Полярным кругом 500...600 м; в зоне прерывистого распространения мощность мерзлых толщ 25...60 м, а в зоне островного распространения 10...15 м. Соответственно температура мерзлых пород в этих зонах: от -5 до -10° , от -1 до -3° и от 0 до -1°C .

Теплообмен в верхних слоях криолитосферы определяется температурой на поверхности Земли и условиями теплообмена в горных породах. Огромное влияние на температуру поверхности Земли имеет снеговой покров, который вызывает ее охлаждение и утепление. Охлаждение является результатом высокой отражательной способности и потерей теплоты на снеготаяние; утепление связано с хорошими теплоизолирующими свойствами снежного покрова. При малой мощности снежного покрова сказывается влияние отражательных охлаждающих процессов, а при большей мощности — влияние теплоизолирующих, утепляющих процессов. Бóльшее или меньшее влияние снегового покрова зависит от плотности снега, времени, в течение которого он покрывает поверхность Земли, характера рельефа и растительности.

На глубину промерзания большое влияние оказывают геологическое строение и гидрогеологические условия. Условия залегания пород, их гранулометрический и минералогический состав, структура и текстура пород и содержание в них воды обуславливают теплоемкость и теплопроводность породы. В наибольшей мере промерзают гравийно-галечные и песчаные и в наименьшей — глинистые породы. При большой влажности пород глубина промерзания уменьшается, так как при льдообразовании выделяется значительное количество теплоты. Некоторое исключение представляют глины — уменьшение глубины промерзания происходит лишь при их полном водонасыщении. Гидрогеологические условия сказываются на глубине промерзания еще и благодаря верховодке, образуемой теплыми поверхностными водами. Но особенно существенное влияние на глубину промерзания оказывают термальные воды, несущие в зону криометосферы большое количество теплоты.

Таким образом, физико-географические и геологические условия определяют характер и особенности тепловых процессов. Рассматривая эти процессы в течение года, т. е. в период, охватывающий все сезонные влияния, представляется чрезвычайно важным

для любого района с многолетнемерзлыми породами иметь данные о режиме их сезонного промерзания и оттаивания, которые ложатся в основу проектов строительства гражданских зданий, промышленных сооружений, шоссейных и железных дорог, подземных водопроводов, газотрубопроводов и гидротехнических сооружений.

Слой периодически промерзающих и протаивающих пород называют *деятельным*. В связи с тем что глубина распространения отрицательных температур зимой и положительных летом может быть неодинаковой, принято говорить о сезоннопромерзающем и сезоннопротаивающем слоях. В условиях, при которых слой протаивания больше слоя промерзания, между мерзлой толщей пород и сезонномерзлыми породами образуется постоянный талик. Таким образом в геологическом разрезе фиксируются две «несливающихся» мерзлых толщ. Такое строение характерно для южных зон распространения многолетнемерзлых пород. В условиях, при которых слой протаивания меньше слоя промерзания, слой сезонномерзлых пород сливается с многолетнемерзлыми породами и в разрезе залегает сплошная толща, не прерываемая таликами. Такое строение характерно для северных зон.

В толщах мерзлых пород, содержащих сильноводопроницаемые прослои, встречаются также пластовые талики, благодаря которым мерзлые породы имеют в разрезе прерывистый характер. В упоминавшихся выше широтных зонах мерзлых толщ встречаются перерывы в виде сквозных и замкнутых таликов. Сквозные талики прорезают свою толщу мерзлых пород сверху донизу, замкнутые не достигают подошвы мерзлых толщ. Такие талики образуются в руслах рек, на площадях, занятых озерами и другими непромерзающими водоемами. Сквозные талики были отмечены в нижнем течении Лены, Колымы и Индигирки.

Промерзание толщ горных пород и переход воды в лед сопровождаются перераспределением и миграцией в породах влаги. Миграция влаги происходит под влиянием молекулярных сил от толстых пленок воды к тонким. Замерзая в процессе передвижения, вода образует характерные текстуры мерзлых пород.

41.3. БУГРЫ ПУЧЕНИЯ

Процессы промерзания — оттаивания в деятельном слое приводят к таким мерзлотным явлениям, которые представляют для строителя существенный интерес. К числу этих явлений относятся так называемые бугры пучения. Они образуются при внедрении подземных вод, находящихся вследствие промерзания под высоким гидростатическим давлением, в толщу пород. Бугры сезонного пучения достигают высоты 2...3 м. Они обычно приурочены к подножию склонов, к долинам рек и ложбинам стока. На равнинных участках они встречаются редко. Летом бугры пучения протаивают и разрушаются. На месте бугров образуются небольшие чаши, заполненные водой.

Многолетние бугры пучения возникают в местах, где находятся постоянные талики, в частности под озерами и реками, а также в местах выходов подземных вод. Они называются еще гидролакколитами и болгунями. Размеры их по высоте до 25 м, а в диаметре достигают сотен метров. Ядро бугров пучения состоит из льдонасыщенных пород или из чистого льда. Над ядром кровля имеет мощность 5...8 м. Бугры пучения растут со скоростью нескольких миллиметров в год, а некоторые и со скоростью до 0,5 м в год. Кровля бугра пучения часто прорывается и из него под напором выбрасывается фонтан воды или разжиженной рыхлой породы. Так возникают водяные или грязевые вулканы.

11.4. ТЕРМОКАРСТОВЫЕ ПРОСЕДАНИЯ И ПРОВАЛЫ

Другое явление, наблюдающееся в области развития многолетнемерзлых пород и столь же опасное, как и рассмотренные выше, для различного вида сооружений, получило название термокарста. Термокарст представляет собой различные формы проседания и провала поверхности, а именно: котловины оседания, воронки, колодцы, блюдца. Возникают они вследствие таяния подземных льдов или оттаивания льдонасыщенных горных пород. Процессы оттаивания происходят в результате изменения условий теплообмена и глубины летнего протаивания. В северных районах основным фактором образования термокарста является изменение режима подземных и наземных вод, а на юге термокарст развивается в связи с изменениями климатических условий.

Могильниковые мари также представляют собой явление термокарста; они покрыты невысокими удлиненными буграми-могильниками. Термокарстовые формы (воронки и провалы) достигают в поперечнике от нескольких метров до нескольких километров. Глубина их равна нескольким метрам, редко десяткам метров. Они имеют крутые обрывистые склоны, часто осложненные оползнями. Аналогичного рода явления, но иной формы представляют собой блюдца и просадочные котловины; отличаются они от воронок и провалов небольшой глубиной.

Все термокарстовые углубления обычно заполнены водой и создают на больших пространствах характерный озерный ландшафт. После того как озера высыхают, на их месте остаются плоские котловины с невысокими бортами. Эти котловины получили название аласов. Они достигают глубины 20...40 м и до 2...3 км в диаметре. Аласы часто превращаются в долины, сливаясь между собой в длинную сеть разветвленных ложбин стока. Водораздельные гряды между аласами называются межаласовыми. Северные районы Лены и Ленско-Вилуйского водораздела представлены аласовыми ландшафтами.

11.5. НАЛЕДИ

При промерзании выходящих на поверхность Земли подземных вод или прорвавшихся речных или озерных вод образуются так называемые наледи, имеющие различную форму. На ровных местах обычно формируются наледи-покровы, на пологих склонах — наледи-потоки и на крутых склонах — наледи висячие. Размер наледи достигает десятков тысяч квадратных метров; иногда образуются наледи-гиганты, размеры которых составляют десятки квадратных километров. Такие наледи, как правило, относятся к крупным тектоническим трещинам.

Для строителя-гидротехника важно знать, что речные наледи образуются с началом ледостава на всех непромерзающих до дна реках. Наледь возникает вследствие выхода под действием развивающегося гидростатического давления воды, зажатой между промерзшим дном реки и льдом, покрывающим реку. Часто ледяной покров реки благодаря такому давлению взламывается и вода, разливаясь по поверхности, замерзает и превращается в наледь; подобные наледи обычно приурочены к быстринам и перекатам. Наледи, образованные выходами надмерзлотных вод, чаще встречаются у подошвы склона, в понижениях и ложбинах. Их можно встретить также у дорог, мостов, трубопроводов. Образуются они с наступлением зимы.

Основными мероприятиями по борьбе с наледями являются перехват и отвод поверхностных и подземных вод, устройство мерзлотных поясов-завес, преграждающих поступление воды к местам их выхода на поверхность. Для этого на пути движения потока подземных вод роют канаву, которая промерзает и становится ледяной перемычкой. Для борьбы с наледями применяются также утепление русла, снегоудержание, сброс теплых вод, устройство закрытых дренажей и др.

В районах, где породы, слагающие берега рек, озер и морей, содержат лед, наблюдается явление термоабразии. Процесс этот связан с отепляющим влиянием воды в водоемах при действии волн и течений, т. е. представляет собой сочетание разрушающей работы воды и теплового разрушения. Термоабразия приводит к образованию на берегах водоемов ниш и береговых платформ. Скорость термоабразии составляет в некоторых случаях до 40 м и более в год.

11.6. СОЛИФЛЮКЦИОННЫЕ СМЕЩЕНИЯ И ПУЧИНЫ

К явлениям, связанным с многолетнемерзлыми породами, относится также смещение по склонам водонасыщенных рыхлых пород. Это явление получило название солифлюкции. Оно относится к группе гравитационных процессов, так как представляет собой оползень. Рассмотрение же этого явления вместе с явлениями мерзлотного комплекса продиктовано тем, что солифлюкционные смещения возникают всегда в связи с промерзанием и оттаива-

нием мерзлых пород. Эта специфичность оползневого процесса полностью определяется мерзлотными факторами: течением переувлажненных оттаивших пород; скольжением смещающихся пород по ледяной поверхности мерзлых пород; смещением пород под действием морозного пучения; смещением под действием осадки при оттаивании. Солифлюкционные смещения происходят на поверхности с уклоном от 2 до 5°; в подобном случае это медленное вязкое течение небольшого (до 0,5 м) слоя супесчано-суглинистых отложений, содержащих щебень и крупные обломки пород. Солифлюкционные смещения бывают представлены земляными потоками, опускающимися по ложбинам склонов и нередко достигающими нескольких сотен метров в длину; курумами; каменными потоками и морями.

Явления, обусловленные промерзанием — оттаиванием пород, представляют серьезную опасность для сооружений. Деформации сооружений могут возникать вследствие пучения грунтов. Расчеты фундаментов на выпучивание изложены в СН 91—60. Осадка сооружений связана с оттаиванием грунтов. При низкой температуре грунтов размеры осадок бывают небольшими, при пластично-мерзлых грунтах (с температурой 0,5... 0,7°C) осадки могут быть очень большими.

Меры борьбы с пучением при строительстве различных сооружений сводятся в основном к осушению грунтов и понижению уровня грунтовых вод, отоплению грунтов у фундаментов с помощью обогрева, увеличению нагрузки на фундаменты и удельного давления на их боковую поверхность, противопучинным засыпкам пазух котлованов, заанкериванию фундаментов, специальным конструктивным решениям.

Борьба с осадками ведется в соответствии с направленностью этого явления. Осадка может происходить вследствие вытаивания льда, по существу представляя собой просадку, или вследствие уплотнения породы от действия собственного веса сооружения. Согласно СН 91—60 к просадочным относят породы, относительное сжатие которых равно 0,03... 0,1. При большем значении относительного сжатия породы являются уже сильно просадочными.

Деформации сооружений в результате просадочности связаны, главным образом, с неравномерностью осадки пород (грунтов) в их основании.

11.7. ПРОМЕРЗАНИЕ И ОТТАИВАНИЕ

К явлениям, связанным с процессом промерзания — оттаивания, относятся пучины. Пучины — это поднятия дорожной одежды, возникающие в начале зимы и продолжающиеся в течение всего зимнего периода. Пучины, как правило, представлены вздутиями дорожных покрытий высотой до 15 см и диаметром до 5 м. Вздутия сопровождаются трещинами в покрытии, особенно, если оно является твердым. В весенний период порода находится в состоянии избыточного увлажнения и становится текучей. Разжи-

женная масса породы прорывается в трещины покрытия и дорожное полотно при этом может прийти в полную негодность. Образование пучин зависит от многих факторов: здесь играют роль и состав пород, условия их залегания, условия водонасыщения и, наконец, климатические условия. Различают *поверхностные* и *коренные* пучины. Первые имеют небольшие размеры, вторые достигают высоты 2...3 м. Это различие обусловлено характером источников увлажнения пород. Пучины поверхностные обязаны своим происхождением поверхностным водам, пучины коренные — грунтовым водам. Наиболее опасными породами, склонными к пучинообразованию, являются пылевато-глинистые породы. Для образования пучин обязательным условием является глубокое промерзание, которое, естественно, связано с длительной и холодной зимой.

Для предупреждения пучинообразования поднимают земляное полотно, устраивают дренаж, прокладывают под дорожным покрытием теплоизоляционные прослойки и т. п. Каждое из этих мероприятий применяют в зависимости от характера геологических условий и намечают на основе данных инженерно-геологических исследований.

Согласно СН 91—60 в районах развития многолетнемерзлых грунтов применяют различные способы строительства, зависящие от инженерно-геологических условий. В этих районах строительство может осуществляться так же, как и в районах, где мерзлоты вообще нет, если в основании сооружений лежат малосжимаемые породы, например галечники, гравий или скальные и полускальные породы. При наличии в таких породах трещин, заполненных льдом или мерзлым материалом, производят протаивание льда, а трещины цементируют.

Другой способ строительства предусматривает сохранение постоянного мерзлого состояния пород в основании сооружений, т. е. применяется в тех случаях, когда возводятся неотапливаемые помещения или же когда можно принять эффективные меры по сохранению мерзлого состояния пород в основании отапливаемых помещений. Лучше всего этот способ может быть осуществлен при большой мощности мерзлых пород в основании сооружения и при устойчивом естественном температурном режиме мерзлоты. Важным условием для безаварийного осуществления такого способа строительства является заложение фундаментов на глубину, большую глубины промерзания. Следовательно, до строительства надо иметь необходимые данные о режиме промерзания — оттаивания.

Способ постоянного сохранения мерзлоты в основании сооружения использует ряд возможностей. Охлаждение пород в основании может достигаться, например, посредством устройства подполий с отверстиями в цоколе, в которые может проходить холодный наружный воздух. Применяют также вентиляционные каналы, трубы, а также прокладки теплоизолирующего материала. Одновременно предусматривают отвод от фундаментов поверхностных и грунтовых вод, которые могут вызвать оттаивание мерзлоты.

При указанном способе строительства применяют столбовые фундаменты и фундаменты-стойки. В отличие от ленточных фундаментов, используемых при строительстве талых пород, у столбовых фундаментов меньше боковая поверхность смерзания и, следовательно, они в меньшей степени подвержены выпучиванию.

Применяют также способ строительства, предусматривающий безаварийную осадку сооружений на мерзлых породах, заранее определенную и не превышающую таких размеров, при которых возможны перекосы, прогибы или крен сооружения. Этот способ используют в случаях, когда сохранение мерзлого состояния основания невозможно. Во избежание деформаций сооружения возводят с осадочными швами, стены армируют, перекрытия делают из железобетона, всю конструкцию сооружения выполняют жесткой.

Еще один способ строительства на мерзлых породах состоит в том, что создаются условия, аналогичные строительству на обычных талых породах. Для этого основание сооружений подвергают искусственному оттаиванию посредством пара, горячей воды и электротокков. При строительстве плотин в условиях мерзлоты скальные породы в пределах поймы и надпойменных террас часто разбиты крупными трещинами, заполненными льдом. Лед в трещинах обязательно оттаивают одним из указанных способов. При строительстве земляных плотин таким же способом оттаивают породы, используемые для создания тела плотины.

Задачи, возникающие перед инженером-строителем в процессе строительства в районах распространения многолетнемерзлых пород, сводятся к установлению: вертикального разреза (сливающаяся, несливающаяся, слоистая мерзлота) мерзлой толщи; площади распространения мерзлых пород (сплошная, с таликами, островная); глубины залегания кровли многолетнемерзлой толщи пород и ее мощности; мощностей слоев сезонного промерзания и оттаивания; температурного режима мерзлых толщ пород; условий залегания мерзлых пород и их структурных и текстурных особенностей; физико-механических свойств мерзлых пород и тех же пород оттаявших; характера режима и динамики подземных вод и особенно грунтовой воды в пределах деятельного слоя; характера явлений гидромерзлотного комплекса — бугров пучения, термокарста, наледей, солифлюкции, термоабразии — и их отношения к проектируемому или строящемуся сооружению; связи между мерзлотными процессами и явлениями и природными условиями.

Инженер-строитель при ведении строительных работ в условиях распространения многолетнемерзлых пород должен постоянно пользоваться консультацией специалиста-мерзлововеда.

СЕЙСМИЧНОСТЬ

12.1. ЕСТЕСТВЕННЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Физическая природа сейсмичности связана с внутренними и внешними механическими импульсами — ударами, толчками или взрывами, возбуждающими в сплошной среде упругие волны. Распространяясь с большей или меньшей скоростью, зависящей от силы удара (толчка, взрыва) и характера среды, упругие волны вызывают большие или меньшие сотрясения в разных участках земной коры и верхней зоны мантии.

Внутренние и внешние механические импульсы могут возникать вследствие: разрядки упругих напряжений, которые можно отождествить со взрывами, а также соударения и трения между блоками земной коры, смещающимися в результате тектонических процессов; тепловых взрывов в верхней зоне мантии, или, точнее, в астеносфере, связанных с пластическими движениями подкорковых масс, обуславливающих нарастание температуры до критического уровня; провалов пещер, горных обвалов и лавин, падения на поверхность Земли крупных метеоритов, искусственных, в том числе и ядерных, наземных и подземных взрывов; внешних космических факторов, например изменений массы Земли и соответствующей ей гравитационной постоянной.

Внутренние упругие напряжения в земной коре вызваны наличием на Земле гравитационных сил. Известно, что горизонтальное сжатие на глубинах от 10 до 30 км увеличивается до 20... 50 МПа. На больших глубинах, в зоне астеносферы (слой пониженных скоростей, по Магницкому, 1965), это горизонтальное сжатие, вследствие пластического состояния вещества и давления, близкого к гидростатическому, остается неизменным. На глубине от 10 до 30 км выделяется наибольшее количество сейсмической энергии, на глубине подкорковой зоны — наименьшее.

Физические условия двух зон, т. е. земной коры (тектоносферы) и астеносферы, различны: первая состоит в основном из твердых пород, вторая — из пластического материала. В первой зоне разрядка упругих напряжений приводит к деформациям, которые распределяются крайне неравномерно, проявляясь, главным образом, в виде глубинных разломов и смещений. Во второй зоне в процессе сжатия участвует пластическое подкорковое вещество, а возникающие при этом тепловые взрывы уже не приводят к остаточным деформациям, подобным разломам в твердой земной коре.

Упругие деформации твердой земной коры и твердой подкорковой оболочки (над пластической астеносферой) являются, как считают ученые Кропоткин (1963), Трапезников (1963), Билинский (1963), Храмов (1967), следствием уменьшения радиуса Земли. Когда радиус Земли и момент инерции уменьшаются, скорость вращения Земли увеличивается и масса Земли изменяется. При

увеличении сжатия скорость вращения Земли, разумеется, уменьшается.

Не следует, однако, сейсмические явления смешивать с тектоническими. Можно говорить о связи между этими явлениями, но не объединять их в одну генетическую категорию. Для понимания физической природы землетрясения необходимо знать физические процессы, происходящие в его очаге. Очевидно, очаг всякого землетрясения следует рассматривать как некоторые разрушения или деформации сплошной среды, вызванные различными механическими процессами. Например, под тектоническими очагами землетрясения следует понимать находящиеся на больших или меньших глубинах области, в пределах которых фиксируются разрывы земной коры и смещения ее разобщенных блоков. Эти тектонические разрывы и смещения могут не достигать поверхности Земли, замыкаясь где-то на глубине. Но всегда роль их сводится к образованию в земной коре упругих волн, вызывающих землетрясения и связанные с ними приповерхностные (до глубины около 40 км) деформации коры. Именно эти приповерхностные (а не тектонические) деформации, образующиеся на границе земля — воздух, т. е. на границе резкого перепада градиента скорости упругих волн, и следует относить к сейсмическим.

Очаги землетрясения могут возникать и независимо от тектонических процессов. Например, очагами землетрясения могут оказаться: участок речной долины, в котором искусственно создано глубокое водохранилище; кратеры выброса или воронки, достигающие иногда сотен квадратных километров, образовавшиеся при падении метеоритов; участки, на которых были произведены искусственные взрывы, и др. В последние годы тщательно исследуются процессы, происходящие в очаговой зоне землетрясений. Это вызвано насущной необходимостью прогнозировать разрушительное воздействие землетрясений на инженерные сооружения, расположенные в сейсмоактивных районах нашей страны. С целью изучения геолого-тектонических процессов в этих районах ведутся специальные геодезические наблюдения за деформациями земной коры, изучается распределение региональных напряжений, картируются и изучаются разломы.

Напряжения и упругие деформации твердой земной коры и твердой подкоровой оболочки (над пластической астеносферой) также объясняются уменьшением радиуса Земли при ее вращении по орбите и моментом инерции обуславливающим увеличение осевой скорости движения Земли и ее сжатие.

Дж. Симпсон (1968), В. Морган (1961), Г. Стопер (1961), М. С. Эйгенсон (1963), А. Д. Сатинский (1963) и другие ученые частоту землетрясений связывали с изменением скорости вращения Земли. Такая корреляционная связь свидетельствует, по их мнению, о преобладании на Земле процессов сжатия коры и твердой подкоровой оболочки и сопровождающих их процессов перемещений блоков земной коры, землетрясений, магнетизма и др. Неоднократно землетрясения связывали с лунно-солнечным тяготением,

изменениями атмосферного давления, циклонами и антициклонами. Между тем мы знаем, что причиной землетрясений могут быть искусственные взрывы.

Так, в районе Медео был произведен направленный взрыв, с помощью которого была создана 100-метровая селеудерживающая плотина на р. м. Алма-Атинке.

В разработке проекта взрыва принимали участие известные ученые нашей страны академики М. А. Лаврентьев, Н. Н. Семенов, М. А. Садовский, Н. В. Мельников, С. А. Христианович, Ю. П. Роботнов и др. Перед ними стояли весьма сложные вопросы и, главным образом, вопрос о том, какой силы сейсмический толчок возникнет в Алма-Ате, сохранятся ли при этом расположенный здесь водосбросной туннель и другие сооружения. Заранее были установлены радиусы опасных зон: 3 км зона сейсмичности, 2,5 км зона разлета осколков породы, 9 км зона газовой волны. Сила землетрясения в зоне сейсмичности предполагалась равной 7...8 баллам, а в г. Алма-Ате — 4 баллам. Все расчеты ученых, полученные с учетом количества взрывного материала (5250 т) и глубины его залегания (88 м в подземных камерах длиной 90 м), оправдались.

Посредством направленного взрыва была создана ГЭС Байпаза на р. Вахше. Сила Байпазинского землетрясения, зарегистрированная приборами, равнялась 8 баллам.

В заключение отметим, что до сих пор, не разделяя тектонических и сейсмических процессов и приписывая землетрясениям тектонические деформации земной коры самых различных масштабов, не обращают внимания на то, что при этом смешивается причина и следствие. Диагностика распознавания сейсмических трещин еще не разрабатывалась и даже не являлась предметом исследования. Между тем умение отличить сейсмические трещины от тектонических и других необходимо не только для точной оценки силы землетрясений, происходивших на изучаемом участке Земли в прошлом, но и для прогнозов возможной интенсивности землетрясений. Расположение, морфология и морфометрия сейсмических трещин столь своеобразны, что их можно отличить от тектонических и других разрывов и трещин в горных породах.

12.2. ВОЗБУЖДЕННЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ВСЛЕДСТВИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Изучение закономерностей воздействия сейсмичности на сооружения и здания, интенсивность воздействия, а также реакция сооружений и зданий, подвергшихся сотрясению, является сложной задачей. Выяснение же природы возникновения землетрясений еще более сложно и уводит нас в область далеко не разгаданных наукой тайн формирования и развития Земли.

В настоящее время зафиксировано и описано много водохранилищных землетрясений, в связи с чем по вопросу о причинах их возникновения разгорелась острая полемика. Среди различных точек зрения превалирует одна, трактующая действующие силы возбуждения таких землетрясений как следствие порового давления. Считают, что, деформируясь и уменьшаясь в объеме, поры выталкивают жидкость под большим давлением, что понижает

прочность породы, способствует росту трещин и хрупкому разрушению пород — землетрясению.

Представления о происхождении водохранилищных землетрясений сводятся к следующему. Возбужденные землетрясения проявляются, как и естественно возникающие, при участии факторов гравитации и тепла. Воздействие названных факторов конкретизируется изменением существующих, действующих гравитационно-тепловых энергетических параметров механизма зоны землетрясений.

Если при поднятии теплового потока снизу вверх значительная нижняя часть литосферы и земной коры, представленная базальтами, переплавляется и базальты переходят в иные минеральные модификации, то средняя часть коры приобретает пластичный характер и породы коры состоят из хрупких и жестких кристаллических пород, главным образом, гранитов. При поднятии они разрушаются и образуют трещины, распространяющиеся до пластической зоны. Бывают трещины сжатия или скалывания, растяжения или отрыва. Сбросы образуются в результате растяжения земной коры. Это и послужило нам основанием для установления причин возникновения водохранилищных землетрясений. Механизм, обуславливающий эти землетрясения, прост: трещины растяжения имеют широкие полости и глубоко проникают в земную кору, а поступающая через эти трещины вода, достигая высокотемпературной пластической зоны земной коры, разогревается до абсолютной критической для воды температуры, что сопровождается огромной силы взрывом, вызывающим разрушения и сотрясения. Это в одинаковой мере относится и к принудительной закачке воды в глубокие скважины. В такой схеме процесс возникновения землетрясений, вызванных деятельностью человека, становится понятным и вполне обоснованным.

Водохранилищные землетрясения (равно как и закачка воды в скважины) возникают, таким образом, вследствие нарушения термодинамических условий: поступления холодного водяного потока в зоны разогретых горных пород на «участках» скопления горячего вещества астеносферы в подкоровых куполах, где происходит поднятие коры. На этих участках при проникновении холодного фронта в слои высокотемпературной зоны породы разрушаются, трескаются, происходит полная или частичная релаксация ранее напряженного массива, возникает определенной силы землетрясение, а в последующем его многочисленные афтершоки, которые происходят до тех пор, пока не сбалансируются температуры тепловых потоков в пределах возможного (по условиям трещиноватости) распространения воды. Подтверждением причин, определяющих землетрясения, вызванные водохранилищем, служат глубокие скважины при нагнетании в них воды; так, вокруг скважины, заложенной для сбросов вод в Демпере (США), штат Колорадо, произошло довольно сильное землетрясение. В скважине, заложенной в Японии близ Мицусиро, при нагнетании в нее воды также произошло землетрясение, равное по силе американскому.

Вряд ли можно думать, что на расстоянии тысяч километров породы, их анизотропия, структурно-текстурные особенности и степень метаморфизма, а следовательно, и поровое давление могли быть настолько идентичны, чтобы привести к одним и тем же результатам сотрясения.

Теперь обратим внимание на то, какие методы должны быть включены в состав инженерно-геологических изысканий и исследований в связи со строительством высоких и сверхвысоких плотин и огромных глубоких водохранилищ, высотных зданий, глубоких туннелей и других сооружений и зданий. Всем хорошо известно, что в течение полувека в комплекс инженерно-геологических изысканий включались: геологическая, геоморфологическая и гидрогеологическая съемка; методы геофизической разведки, микросейсморайонирование; бурение; горные работы; опытные фильтрационные работы по изучению явлений фильтрации и удельных водопоглощений; лабораторные исследования физико-механических свойств грунтов; разведка строительных материалов и их свойств; полупроизводственные опыты по изучению материалов для тела плотины и упругих свойств скальных пород.

Этот комплекс инженерно-геологических исследований теперь уже нельзя считать достаточным. В нем отсутствует раздел по изучению сейсмоактивности и сейсмоопасности района строительства гидротехнических сооружений, без чего проектировать современные сооружения было бы чрезвычайно рискованным.

Как показывает практика, необходимо разработать новые теоретические методы исследования сейсмических районов строительства высоких плотин и создаваемых ими водохранилищ. Разработка этих методов сводится к определению содержания, приемов и способов составления карт геофизических полей: карты гравитационного и теплового полей (по параметрам плотности пород и температур), карты электромагнитного поля (по параметрам электропроводности), карты магнитного поля (по параметрам намагниченности), карты гидрогеологической (по параметрам тепловым и химическим — изменению содержания радона, гелия и других радиоактивных элементов), карты тектонических узлов (т. е. карты густоты разрывных пересечений).

Возможно, что на основе ряда названных карт можно будет разработать метод составления единой карты геофизических полей, отыскав коррелятивные связи между отдельными геофизическими параметрами. Такие карты, составляемые периодически, могли бы несомненно служить не только для выполнения сейсмостойкости района строительства, но и степени его сейсмоопасности на основе сейсмического прогнозирования. Заметим, однако, что изучением, например, гравитационного, теплового, электрического, магнитного и других полей участка, намеченного для строительства при производстве инженерно-геологических изысканий, никогда широко и всерьез не занимались и, больше того, может быть и не совсем понимали, для чего это нужно. А между тем, специалисты в областях физики и математики проводили в Средней Азии

на берегу р. Сурхоб, в поселке Газор-Чашма, а также на р. Сулак, в районе Чиркейской ГЭС и в других районах весьма интересные исследования, показавшие, что перед сейсмическим ударом в очаге землетрясения электропроводность пород понижается и потенциал сопротивления электрического поля падает перед землетрясением малых амплитуд до 10, а перед сильными землетрясениями до 25%.

Такие же количественные характеристики параметров геофизических полей могут быть получены и в отношении силы тяжести, а также тепловых, магнитных, радиоактивных и других процессов в земной коре. Корреляция значений ряда параметров, полученных для различных по времени измерений, может служить материалом для установления сейсмоактивности, а следовательно, и сейсмопасности района проектируемых сооружений, а з равной мере и для прогноза землетрясений.

Глава 13

ОСНОВЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

13.1. КРАТКИЕ УКАЗАНИЯ О МЕТОДАХ ПРОИЗВОДСТВА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Геологическую и инженерно-геологическую съемки выполняют посредством одних и тех же методов. Для этого в полевых и камеральных условиях изучают горные породы и условия их залегания, определяют местонахождения обнажений или пунктов наблюдения. Наносят данные наблюдения на карту.

При мелкомасштабной съемке используют метод маршрутных пересечений. Среднемасштабную съемку производят или методом маршрутных пересечений или прослеживанием слоев по простиранию. Крупномасштабную съемку ведут методом пересечения пород по простиранию, вкрест простирания и рядом других инструментальных методов, в частности методом стереофотосъемки, фото-теодолитной и др.

Результатом съемки должно являться: оконтуривание слоев по естественным обнажениям или горно-буровым выработкам; установление последовательности залегания слоев; измерение геометрического характера залегания слоев и их мощности; изучение литологического состава пород.

Все данные, полученные в результате съемочных работ, служат для составления геологической карты. Картирование состоит в нанесении на топографическую основу граничных линий выходов геологических тел на дневную поверхность. Чтобы получить представление о геологической структуре картируемой площади, необходимо иметь топографическую основу в горизонталях. Выход слоя на неровную дневную поверхность меняется в зависимости от

того, как залегает слой. Если слой лежит горизонтально, то контакты его с подстилающими и покрывающими слоями будут огибать отроги и вдаваться вверх по речной долине. Границы слоя в этом случае будут изображаться на карте, как показано на

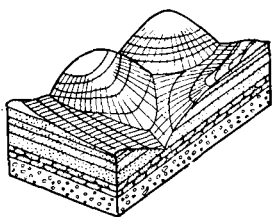


Рис. 13.1. Влияние рельефа на конфигурацию выходов горизонтально залегающих слоев

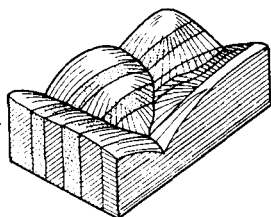


Рис. 13.2. Влияние рельефа на конфигурацию выходов вертикально залегающих слоев

рис. 13.1. При вертикальном залегании слоя он будет изображаться на карте полосой, протягивающейся в каком-либо одном направлении, независимо от рельефа (рис. 13.2). При наклонном залегании слоев граничные линии их выходов на поверхность будут проектироваться на карте в виде параллельных ломаных полос с изгибами в долинах и отрогах (рис. 13.3). В долинах линии изгибов будут направлены своими вершинами в сторону падения слоев

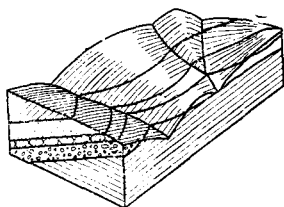


Рис. 13.3. Влияние рельефа на конфигурацию выходов пластов, падающих вверх по течению реки

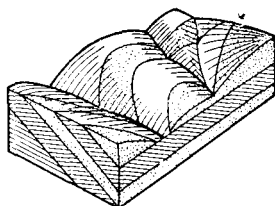


Рис. 13.4. Блок-диаграмма

(рис. 13.3, 13.4), за исключением тех случаев, когда их наклон будет меньше уклона реки (вершины изгибов будут обращены в направлении, противоположном падению слоев).

Итак, геологическая карта представляет собой проекцию на горизонтальную плоскость граничных линий выходов слоев и их площадей. Линия, пересекающая рельеф прямолинейно, на карте также отобразится в виде прямой линии и будет свидетельствовать о вертикальном положении слоя. Линия, пересекающая рельеф в горизонтальной плоскости и следующая всем его изгибам, располагается параллельно горизонталям и свидетельствует о горизонтальном залегании слоя. То же количество изгибов будет иметь линия границы выхода (подошвы или кровли) слоя на поверхность

при любом наклонном его положении, но изгибы этой линии будут более плавными, а образуемые ими углы — более тупыми.

Один из самых простых методов построения геологической карты смятых в складки слоев согласно правилам горной геометрии описывается ниже.

Представим себе, что по данным съемки в пункте h показано обнажение, на котором зафиксирована плоскость контакта двух слоев. Примем вертикальный масштаб и построим профиль через точку h вкрест простирания слоев. Базисную линию профиля обозначим через xu , и параллельно ей (рис. 13.5) строго перпендикулярно простиранию слоев составим геологический разрез fg . Проектируем обнажения h на линию профиля и фиксируем точку h' . Из этой точки проводим линию $h'l$ на запад под углом 25° к горизонту. Линия $h'l$ показывает на пересечение плоскости профиля с плоскостью контакта слоев в обнажении h и пересекает горизонтали 160, 140, 120 и 100 соответственно в точках a, b, c, d . Из этих точек перпендикулярно базисной линии проводим через всю карту линии, как это показано на рис. 13.5.

При пересечении линии, идущей от точки a , с горизонталью 160 будет находиться контакт слоев; этот же контакт будет фиксироваться при пересечениях линиями из точек b, c, d с горизонталями 140, 120 и 100 м. Соединим полученные точки выходов контакта линией UVW , которая и будет линией пересечения рельефа с плоскостью контакта двух слоев, так как в рассматриваемом случае линия fg ориентирована вкрест простирания слоев и в обнажениях O, P и S установлены контакты между теми же слоями, которые мы наблюдали в обнажении h . Для установления структуры картируемого массива надо выполнить построения для указанных обнажений, аналогичные сделанным для обнажения h . В конечном результате определяем (рис. 13.5) синклинальную структуру. Полученные на основе описанных построений данные позволяют составить карту и геологический профиль по линии вкрест простирания пластов.

Стратиграфо-литологическая корреляция осуществляется палеонтологическим и минералого-петрографическим (литологическим) методами. Наличие в слое или в свите слоев, встреченных при съемке в разных пунктах, одних и тех же остатков фауны и флоры свидетельствует о принадлежности их к одному возрасту. Так устанавливаются возрастные соотношения пород в разрезах или соотношения стратиграфические, отражающие историческую последовательность в образовании пород данного разреза. Геологическая

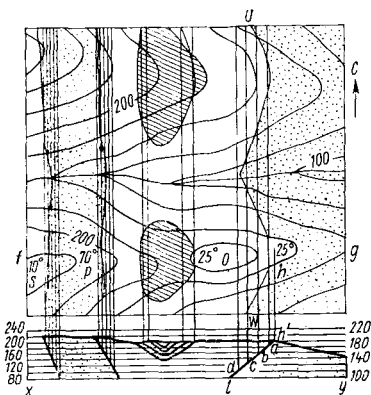


Рис. 13.5. Построение геологической карты

стратиграфия является относительным методом определения возраста пород, но вполне удовлетворяющим структурные построения.

Минералого-петрографический метод корреляции заключается в сравнении пород, находящихся в различных пунктах, как визуально, так и посредством исследований под микроскопом. Это также относительный метод определения возраста пород.

В настоящее время существуют также радиоактивные методы исследования абсолютного возраста пород, но при геологических съемках их применяют редко. Особенно сложной является крупномасштабная съемка. На картах масштаба 1 : 10 000 в 1 мм карты может быть показан слой мощностью 10 м, а слой в 1 м мощности изобразится в виде тонкой линии (0,1 мм), проведенной пером. Эти возможности карты как плоского двухмерного изображе-

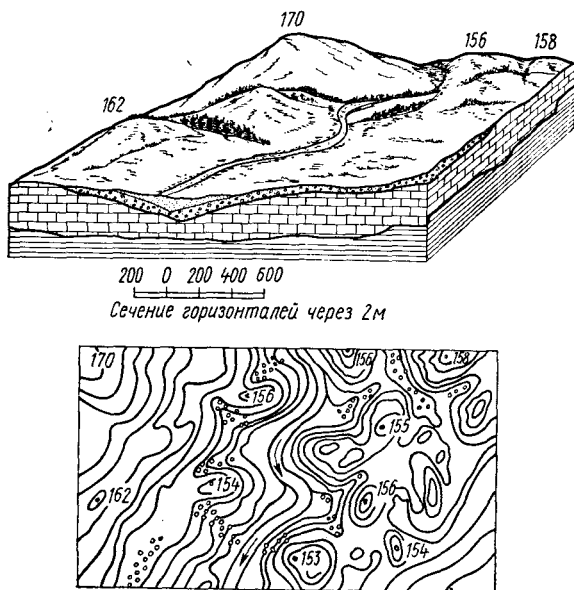


Рис. 13.6. Влияние рельефа на конфигурацию выходов пластов, падающих вниз по течению реки

ния следует иметь в виду при назначении масштаба съемки. Если район съемки представлен слоями, ширина вытянутых контуров которых на карте не менее 1 мм, то такую карту еще возможно составить, хотя это и будет связано с большими техническими трудностями.

При ширине контуров слоев менее 1 мм карта становится уже нечитаемой, и приходится вести съемку в большем масштабе: например, при съемке в масштабе 1 : 1000 ширина контуров слоя мощностью в 10 м составит 1 см. Крупномасштабные съемки от 1 : 10 000 и крупнее служат для составления пластовых карт. Такие съемки основаны на точных геометрических построениях и выполняются с помощью фототеодолитных плановых и высотных привязок точек наблюдений, т. е. инструментально. Среднемасштабные съемки выполняют с помощью анероида. Карты сопровождаются геологическими разрезами.

Формационная и циклическая таксономия		Формационно-						
Мегаформации	Мегациклы	Геосинклинальная						
Формации	Макроциклы	Нижнетерригенная					Известняковая	
		Угленосная молассовая					Морская карбонатная	
Субформации	Мезоциклы	Флишаидная					Морская мелководная	
Макрофации	Циклы	Прибрежная мелководная	Прибрежная литоральная	Прибрежная мелководная	Грибкообразная литоральная	Прибрежная мелководная	Верхней зоны шельфа	Средней зоны шельфа
Фации	Циклы низшего порядка	Гравелиты глинистые	Песчанник глинистый	Сланцы углистые	Конгломерат мелководный галечный	Песчанник оркозовый олеозинный	Долломит	Известняк
Микрофации								
Стратиграфический индекс и условные литологические обозначения		K _{1v}	K _{1h}	K _{1br}	K _{1a}	K _{1a'}	K _{2c}	K _{2t}
№ слоя		8	10	4	3	5	6	7
Мощность, м		11-15	10-12	5-6	2-5	1,5-2	6-10	6-12
Обобщенные показатели физико-механических свойств пород	Плотность частиц, г/см ³	2,4	2,65	2,74	2,6	2,62	2,7	2,05
	Плотность, г/см ³	1,9	2,1	2,15	9	2,1	2,25	2,1
	Пористость, %	25	32			13	5	25
	Модуль деформации, МПа	50	80	100	100	150	80	400
	Показатель растворимости, г/л						0,1	0,15
	Число пластичности, %							
	Сцепление, МПа							
	Угол внутреннего трения, град							
	Естественная влажность, %	18	12			2,5		5
	Коэффициент Пуассона	0,3	0,28			0,14	0,27	
Гидрогеология	Модуль упругости, МПа							
	Временное сопротивление раздавливанию, МПа	60	70	80	90	110	10	140
	Коэффициент фильтрации, М/сут	14	20	11	11	12	45	50
	Подземные воды	Трещинные глубокой циркуляции					Карстовые	
	Напорность вод, м	Безнапорные					Напорные Н-10	
	CO ₂ — углекислота SO ₄ — сульфатная Агрессивность: I — неагрессивная II — слабоагрессивная III — агрессивная	I	I	I	I	I	CO ₂ II I	SO ₄ III I
	Минерализация, г/л	до 1	0,1-0,3	до 0,7	до 1	до 3	3,7	2,5
	Водообильность, м ³ /сут	Практически безводные					5-10	
	Глубина залегания, м	0-5, 0-1 и более					0-5,	

структурные зоны

Альпийская										
Верхнетерригенная										
Морская континентально-обломочная малассовая					Континентально-обломочная					Наземно-вулканогенная
Малассовая					Флювиальная					Эффузионная
Прибрежная мелководная (литораль)	Прибрежная береговой отмели		Прибрежная мелководная	Морская мелководная нижняя зона шельфа	Озерная	Аллювиальная				Туфогенная
Песчанник глинистый	Конгломерат	Песчанник с гравием	Песчанник крупнозернистый	Глина	Супесь	Глина	Песок	Песок илистый	Щебень галька, дресва	Туфобрекчия
K_2cn	K_2s	K_2cp	K_2m	P_1	IQ_3	aQ_3	aQ_4	aQ_4	paQ_4	βQ_3
10	8	9	11	12	14	17	18	19	21	16
10-12	11-15	4-5	3-4	10-12	3-5	2-3	6-7	5-7	10-15	5-6
2,65	2,4	2,65	2,6	2,1	2,6	2,5	2,65	2,55	2,71	2,9
2,1	1,9	2	2,1	2	1,85	1,6	1,85	1,65	1,85	2,4
31	25		1	40	39,5	60	34		35	4
100	50	150	90	0,7	0,6	0,15	0,4		0,38	800
				24	5	9		15		
				0,05	0,01	0,02	0,04	0,03		
					32	21	32	29	35	
11	17			14	13	12	16	14	15	
0,29	0,3		0,29							0,21
0,910										
100	60	120	90							140
8/10	14	22	15		4,5	0,4	3,5	0,3	11,5	1,5
Трещинные глубокой циркуляции					Грунтовые современных речных долин					Трещинные лавовых потсков
Безнапорные	Безнапорные		Напорные Н-18	Безнапорные	Безнапорные					Напорные Н-18
CO_2 II	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
3	до 3	до 1								до 1
и более				Практически безвод.	1-5					
0-1					0-5, 0-1					0-10

теризованы показателями выветрелости, трещиноватости, размокаемости, просадочности, водопроницаемости. На крупномасштабных картах могут быть выделены литологически однородные слои небольшой мощности. Это позволяет охарактеризовать выделенные слои всеми показателями физических и механических свойств.

В процессе инженерно-геологической съемки параллельно с изучением стратиграфо-литологических особенностей района составляют также документацию всех наблюдаемых тектонических элементов. К ним относят вторичные формы залегания слоев — складки, разрывы, трещины. Очевидно, что при мелкомасштабных съемках степень детальности тектонического исследования будет меньше, чем при съемках среднемасштабных. Надо учитывать, что региональная тектоника не может быть отражена на крупномасштабных картах, так как обычно они характеризуют лишь небольшие участки, но структурно-тектонические элементы таких участков (складчатость, разрывы, трещиноватость) наносят на крупномасштабные карты весьма подробно.

Крупномасштабные инженерно-геологические карты (рис. 13.7) сопровождаются иногда картами-срезами на различных глубинах, в особенности при сложной тектонике, когда срезы на различных гипсометрических уровнях значительно отличаются друг от друга. Все данные структурно-тектонических исследований наносят на карту: строго фиксируются азимуты падения и простираения слоев, линии разрывов, диаграммы трещиноватости.

Изучение структурно-тектонических условий должно сопровождаться наблюдениями над степенью нарушенности и сохранности пород. Для инженерно-геологической характеристики пород весьма существенны показатели их блочности, т. е. расчленения пород на блоки с фиксированными объемами последних. Следует также строго фиксировать ширину и протяженность зон дробления и катаклазы пород, обусловленных тектоническими нарушениями.

Вместе с указанными наблюдениями при инженерно-геологической съемке проводят также в соответствии с ее масштабом и гидрогеологические исследования. Они заключаются в установлении приуроченности подземных вод к стратиграфически определенным горизонтам, мощности последних и их гидравлических характеристик (напорные, безнапорные воды, типы вод — поровые, карстовые, трещинные, условия питания и разгрузки), а также состава и степени минерализации воды. Определяют водопроницаемость пород и дебиты естественных источников, а также буровых скважин и колодцев, изучают режим подземных вод.

Значительное место в инженерно-геологической съемке отводят геоморфологическим наблюдениям. Эти наблюдения дают очень важный материал для познания истории формирования речной долины. Определение гипсометрического положения и количества террас в долине, а также данные об ее переуглублении являются теми геологическими реперами, которые фиксируют этапы поднятий, остановок и опусканий земной коры, указывают на общую амплитуду поднятия и позволяют установить влияние механизма

тектонических движений на эрозионную деятельность реки. Речные террасы представлены аккумулятивными, цокольными и аккумулятивно-цокольными ступенями. Тектонические движения в течение четвертичного периода называют неотектоническими. Изучение этих движений объясняет процессы горообразования, формирования рельефа и возможность возникновения землетрясений в определенных зонах земной коры.

Геоморфологические данные позволяют устанавливать характер образования речных долин: одни из них являются antecedentными, возникшими при пересечении рекой постепенно поднимающегося хребта, другие — эпигенетическими, возникшими путем образования эрозионного ложа на поверхности земли. Эти же данные позволяют судить об оледенениях, происходивших в речной долине за время ее образования, о временных запрудах в долине, создававших большие и глубокие озера, о вулканических процессах, с которыми связаны существующие вулканические конусы и потоки.

Наконец, весьма важными элементами инженерно-геологической карты могут быть геологические явления, определяющие статическую и гидравлическую работу сооружения. К таким явлениям относятся: просадочность, карст, оползни, обвалы, лавины, землетрясения и многие другие геологические явления, естественно развивающиеся в природе. Изучение этих явлений и нанесение их на карту дает возможность судить о целесообразности строительства в данном месте и о характере мероприятий, требующихся для обеспечения надежности и долговечности сооружения.

Изучение и картирование естественно развивающихся геологических явлений позволяют обоснованно подходить к решению вопросов, связанных с возможностью возникновения явлений, обусловленных инженерной деятельностью человека. Это может найти свое выражение в составлении специальных карт, которые могут быть названы картами инженерно-геологических прогнозов, например карты переработки берегов водохранилищ, карты оползневых смещений и т. п.

Инженерно-геологическая съемка и составленная по ее данным инженерно-геологическая карта являются при разработке схемы использования реки и основным методом полевого геологического исследования, и основным техническим (проектным) документом. Размещение сооружений (гидроустановок) и водохранилищ может быть рационально и экономически целесообразно запроектировано только с учетом геологических условий, которые отражены на инженерно-геологической карте. На основе данных карты могут быть правильно намечены створы плотин и правильно намечены участки реки для создания емких аккумулирующих водохранилищ, с достаточной обеспеченностью их нормальной работы и с наименьшим ущербом, наносимым гидротехническими сооружениями народному хозяйству (подтопление, затопление, перенос мостовых переходов с железными дорогами, перенос заводов и др.) Поэтому инженерно-геологическая карта должна представлять собой строгий и методи-

чески обоснованный документ, полностью отвечающий установленным для данного масштаба карты кондициям.

Основное в методике инженерно-геологического картирования, как и во всяком другом картировании, — это масштаб карты. Масштабы карт для различных этапов проектирования естественно различны. При составлении схемы использования реки, когда изучается вся площадь речной долины от верховий до устья или значительная часть долины и когда сама задача изысканий состоит в том, чтобы разбить весь водоток на технически целесообразные ступени использования, из которых в качестве первоочередной для строительства выбирается только одна ступень, достаточно съемки масштаба 1 : 200 000 и даже, при сплошной обнаженности и простых геологических условиях, масштаба 1 : 500 000. Это мелкомасштабные съемки.

Мелкомасштабные инженерно-геологические съемки, т. е. съемки до 1 : 100 000, выполняют на топографической основе более крупного (по крайней мере, на одну ступень) масштаба. Все точки наблюдений (обнажения, маркирующие горизонты, тектонические разрывы, выходы источников и др.) наносят глазомерно.

В пределах участков створов, в зависимости от обнаженности горных пород и сложности геологических условий, инженерно-геологические съемки выполняют в масштабе от 1 : 100 000 до 1 : 10 000. Это уже съемки среднего масштаба. При производстве среднемасштабных инженерно-геологических съемок основой их также должна быть более крупномасштабная топографическая карта, а точки наблюдений не менее чем на 50% должны быть нанесены инструментально.

На инженерно-геологических картах горные породы должны быть показаны так же, как они показаны на геологических картах того же масштаба. Инженерно-геологическая карта отличается от геологической тем, что на нее помимо состава, возраста пород и соотношений в условиях их естественного залегания наносят целый ряд других данных, необходимых для оценки условий строительства. К числу таких данных относятся прежде всего показатели физических и механических свойств пород, характеристика гидрогеологических условий, т. е. приуроченность к показанным на карте породам водоносных горизонтов, геоморфологическая характеристика, дающая представление о формах и условиях происхождения рельефа, характеристика физико-геологических явлений и сейсмичности.

Следует отметить, что ранее содержание инженерно-геологической карты трактовалось по-разному. Одни считали, что такие карты предназначаются для определенных видов строительства и должны составляться с учетом специфики сооружения — его типа, конструкции и др. Другие считали, что инженерно-геологическая карта должна быть единой и универсальной и что специфика различных видов строительства должна учитываться не особыми и разнообразными типами карт, а их масштабом. Так, для проектирования высокой плотины или высотного здания нужна крупномасштабная

съемка и, следовательно, крупномасштабная карта, а для проектирования трассы электропередачи или железной дороги, протягивающейся на сотни километров, достаточно мелкомасштабной маршрутной съемки. Сторонниками этой последней точки зрения указывалось, что непризнание единых методов и принципов разработки инженерно-геологических карт приведет к тому, что карты будут составляться для каждого сооружения соответственно индивидуальным представлениям автора, а умножая их число на число видов строительства, можно легко представить себе многовариантность карт и невозможность их увязки при создании общегосударственной карты.

Анализ мелко- и среднемасштабной инженерно-геологических карт позволяет сделать некоторые обобщения об условиях строительства и в различных участках закартированных площадей и, таким образом, провести инженерно-техническое районирование, выделяя участки (районы) по их инженерно-геологической сложности, или, что то же, по категориям строительной сложности вне зависимости от характера сооружения и его наземного или подземного расположения.

Предлагается следующая шкала оценки инженерно-геологических условий: I — простые, II — осложненные, III — средней сложности, IV — сложные, V — весьма сложные*. Все эти пять категорий строительной сложности охарактеризованы совокупностью литологических, тектонических, гидрогеологических, геоморфологических, физико-геологических и сейсмических признаков и особенностей изучаемой территории. Они могут служить в качестве показателей объемов инженерных мероприятий, необходимых для строительной подготовки участка (дренаж, вскрыша, цементация и др.), обеспечивающих нормальную и долговечную работу сооружения в различных по степени сложности условиях. Таким образом, можно с известной условностью подходить к установлению строительно-экономических категорий. Приняв стоимость сооружения в простых условиях, не требующих строительной подготовки, за единицу, можно стоимость сооружения в весьма сложных условиях принять в полтора раза большей и, таким образом, располагать некоторыми сопоставительными экономическими данными. Например, при строительстве Ингурской арочной плотины, возводимой в весьма сложных геологических условиях, необходимо было удалить около 50 м галечных отложений в русле под основанием плотины, заполнить всю эту выемку бетонной пробкой, устроить специальные укрепительные швы в зонах тектонических разломов, возвести двухрядную 150-метровую противofильтрационную завесу и т. д., т. е. провести такой объем подготовительных инженерных мероприятий, который составит в денежном выражении не менее 50% стоимости самого сооружения.

* См.: *Белый Л. Д.* Теоретические основы инженерно-геологического картирования. М., 1963.

Как бы ни осуществлялось инженерно-геологическое районирование, важно иметь в виду, что оно может являться лишь результатом или обобщением данных, составляющих содержание инженерно-геологической карты. Поэтому часто употребляющееся выражение «карта инженерно-геологического районирования» не только не отличается необходимой строгостью смысла, но и вносит ненужные осложнения в понимание содержания инженерно-геологической карты. Правильным следует считать выражение «районирование инженерно-геологической карты».

Кондиционность инженерно-геологических карт в значительной мере зависит от количества точек наблюдений: естественных обнажений и горно-буровых выработок. Для каждого масштаба карты устанавливается в связи с этим определенное количество таких точек и, кроме того, принимается определенное соотношение между естественными обнажениями и горно-буровыми выработками.

Крупномасштабная инженерно-геологическая съемка выполняется при составлении технико-экономического обоснования для намеченных первоочередных участков строительства и при разработке проекта. Если при составлении ТЭО производилась съемка масштаба 1:5000, то на том же участке в стадии проекта съемка должна удовлетворять данным большего масштаба, т. е. 1:2000 или 1:1000. Чем сложнее геология и ответственные сооружения, тем крупнее должен быть масштаб съемки. Съемка в стадии проекта ведется на первом этапе изысканий и проектирования; на втором окончательном этапе к моменту завершения проекта данные съемки постоянно корректируются накапливаемым новым материалом по горным и буровым выработкам, и на стадии рабочих чертежей уточненная карта служит для компоновочных и конструктивных проектных решений и для проекта организации и способов производства работ.

Важно отметить, что при производстве инженерно-геологической съемки особое внимание уделяется исследованию местных строительных материалов. При составлении схемы использования реки, когда производится мелкомасштабная съемка, охватывающая большие территории, исследования строительных материалов сводятся к их поискам, установлению месторождений и визуальному (по категории С) определению запасов строительных материалов. Этого вполне достаточно для вопросов, решаемых в схеме.

При разработке ТЭО в процессе инженерно-геологической съемки производится уже специальная разведка месторождения и запасы строительных материалов подсчитываются по категории В.

В стадии проекта перспективные месторождения подлежат дополнительной разведке для определения части запасов по категории А. Нередко на участках месторождений выполняют съемку более крупного масштаба, чем для всего района.

13.3. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

Составление инженерно-геологической карты СССР является в наши дни актуальной задачей. Необходимость в этой карте будет возрастать по мере развития народного хозяйства и новых форм планирования и экономического районирования.

Размещение населенных пунктов, промышленных комплексов и узлов, энергетических, мелноративных, транспортных и всех других отраслей хозяйства, а в равной мере и охрана геологической среды и областей жизнеобитания потребуют координированного технико-экономического обоснования, основой которого будет служить именно инженерно-геологическая карта.

С принципиальной точки зрения инженерно-геологическая карта СССР — государственная карта — должна составляться по единой методике, так же как составляется геологическая карта, а сама методика картирования должна быть создана на основе тех достижений, которыми располагает современная геологическая наука. Только при этом условии обладающая практическим значением карта будет служить стимулом развития самой инженерной геологии как отрасли геологической науки. Нельзя не отметить, что в развитии инженерной геологии отсутствие единого метода построения инженерно-геологической карты является таким же досадным пробелом, как и отсутствие систематики свойств горных пород.

Для составления геологической карты используют стратиграфический метод, а теоретической основой карты является стратиграфическая геология. Для составления инженерно-геологической карты большую роль играет не возраст пород, а их вещественный состав и свойства, поэтому содержание инженерно-геологической карты, очевидно, должно исходить из этого принципа. Чтобы установить содержание карты, надо найти ее структурную формулу, т. е. определить не только состав входящих в нее элементов, но и их органические связи. Теория структуры карты раскрывается, с нашей точки зрения, методологией формационного анализа. Благодаря формационному анализу инженерная геология получает возможность устанавливать связи между литологическими сообществами (парагенезами) горных пород и геологическими структурами в качестве определенно существующих закономерностей.

Обусловленность названных связей в природе является результатом циклических колебательных движений земной коры, выраженных как в периодичности процессов осадконакопления, так и в самой архитектонике земной коры. Таким образом, используя формационный метод при составлении инженерно-геологических карт, мы выделяем и ограничиваем исторически сложившиеся комплексы парагенетических сообществ пород, связанных с соответствующими им геологическими структурами. Наконец, этот метод дает нам возможность судить и о тектонической жизни изучаемой территории по характеру выделяемых на ней формаций, другими словами, по условиям размещения составляющего формацию

комплекса литологических фаций и соотношению их мощностей.

Утверждая преимущества формационного метода в разработке теории структуры инженерно-геологической карты, нельзя, к сожалению, ограничиться сделанными выводами, так как до настоящего времени в учении о формациях и в самом подходе к формационному анализу существует много принципиальных разногласий. Поэтому задача состоит в том, чтобы критически оценить различные точки зрения и использовать целесообразно обоснованные, прогрессивные элементы формационного учения.

13.4. СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЙ (ФОРМАЦИОННЫЙ) ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

В течение двух последних десятилетий попытки использовать в методике инженерно-геологического картирования учение о формациях делались неоднократно, однако данные этого учения истолковывались, по меньшей мере, эклектично и далеко не отвечали его подлинному смыслу и содержанию, а поэтому и в методах картирования отсутствовала необходимая целостность и единство принципов. Легенды карт включали и какие-то данные о формациях и не увязанное с границами формаций инженерно-геологическое районирование, и не отвечающее масштабу карт искусственное расчленение горных пород и пр.

В результате многолетних работ по методике картирования можно заключить, что в основу составления инженерно-геологической карты должен быть положен структурно-вещественный (формационный) принцип. Основанием для этого вывода послужило то, что традиционный литолого-стратиграфический принцип, положенный в основу геологической карты, решая задачи отображения исторической последовательности залегания горных пород, не раскрывает связи между их литологическим составом и структурными особенностями, что очень важно в инженерно-геологическом отношении.

В составлении геологической карты, как известно, обязательными элементами картирования являются: границы слоев, выделяемых на поверхности Земли; последовательность напластования слоев; характер залегания слоев; литологический состав пород. Указанные элементы сохраняют свое значение и при составлении инженерно-геологической карты, однако формационный метод вносит в нее весьма существенные и важные дополнения. Стратиграф, как отмечали Н. П. Херасков, Г. М. Келлер и Н. А. Штрейс, всегда должен стремиться к возможно большей изохронности устанавливаемых им границ, что не имеет значения при определении границ формаций. Стратиграфа интересуют различия между отдельными частями разреза, в то время как исследователю формаций сходство частей разреза так же важно, как и их различие. Стратиграф может не предусматривать последующей типизации своих единиц вне зависимости от их возраста и местонахождения, что обяза-

тельно для геолога, изучающего формации*. Упомянутые авторы здесь же приводят и еще одно существенное указание, что «геологическое картирование, основанное на проведении границ стратиграфической шкалы, не может быть подменено картированием формаций. Выделение формаций на особых картах на основании полевых исследований или геологических картах является несомненно важной задачей».

К сказанному следует добавить, что формационный анализ в инженерно-геологическом картировании позволяет: выделять границы пород по их вещественному составу; оценивать структурные формы массивов по вещественному составу пород; определять характер цикличности (ритмичность) в слоеобразовании и относительную длительность циклов; реставрировать палеогеографические условия; определять характер и амплитуду современных тектонических движений.

В основе предлагаемого метода лежат многие очень важные положения современной геологии. Известно, например, что механизм формирования слоистой структуры определяется колебательными движениями земной коры. Действие этого механизма выявляется исключительно посредством фациального анализа. Известно также, что в слоеобразовании участвуют два зависящих от колебательных движений земной коры процесса: смена состава пород в вертикальном направлении и образование разделов между слоями.

Разделы на слои наблюдаются и в однородных или, точнее сказать, почти в однородных толщах (например, в глинах) и в неоднородных толщах, литологический состав которых меняется от слоя к слою скачкообразно. Наблюдающееся в слоистой структуре чередование пород различного состава указывает на соответствующее быстрое изменение тектонических условий, или, другими словами, на быстро меняющиеся отношения между поднятиями и опусканиями и быстрое перемещение береговых линий моря. Например, слой конгломерата, покрывающий площади на сотни километров, является прямым свидетельством происшедшего на этой площади перемещения береговой линии.

Н. Г. Вассоевич относит фациальные комплексы отложений к мутационным при стационарном положении берега и к миграционным при передвижении берега. Каждый слой может представлять собой фациальный комплекс (группу фаций или макрофацию), если вслед за передвижением береговой линии разновременность отложений вследствие кратковременности осадконакопления не может быть охарактеризована палеонтологически.

Разделы между слоями объясняются неравномерностью прогибания земной коры, которое является то ускоренным, то замедленным, то сменяется на обратное движение. Таким образом, слоеобразова-

* См.: Херасков Н. П., Келлер Г. М., Штрейс Н. А. О геологических формациях. — В кн.: К итогам Совещания по геологическим формациям. Серия геологическая, № 4. М., 1953.

ние — сложный процесс, а геологический разрез — это осредненный и обобщенный комплекс фаций, отражающий их спектр, т. е. кривую колебательных движений земной коры. Само распределение фаций в геологическом разрезе определяется перемещением положения береговой линии (границ размыва) и соотношением скоростей опускания в области аккумуляции и поднятия в области размыва. Распределение в геологическом разрезе мощностей определяется расположением областей большего или меньшего прогибания.

Такой же уровень равновесия, обусловливаемый колебательными движениями, характерен и для суши и определяется эрозийным профилем и условиями переноса осадочного материала. Поэтому и области континентальных отложений можно рассматривать как фациальные зоны, идентичные по механизму образования морским зонам. Следует при этом иметь в виду, что метод мощностей, весьма важный для областей прогибания, не применим для поднятий.

В методических задачах инженерно-геологического картирования существенное место наравне с указанным выше методом изучения спектра фаций должно занимать исследование перерывов, так как они указывают на поднятия земной коры. В строительстве и работе инженерных сооружений существенное место отводится факторам современных тектонических движений, обычно связанных с землетрясениями.

Современные тектонические движения находят свое отражение в спектре голоценовых фаций и, таким образом, также могут быть нанесены на инженерно-геологическую карту. Наибольшие трудности в этом отношении заключаются в небольшом диапазоне мощностей (голоценовых) отложений, синхронных с современными тектоническими движениями и прерывистостью градиентов литологической смены этих отложений от одного пласта к другому. Так или иначе изучение спектра голоценовых фаций является важной частью анализа современных движений.

Из интересных обобщающих работ Н. И. Николаева видно, что для многих районов СССР доказана тесная генетическая связь новейших и современных тектонических движений с различными тектоническими элементами земной коры и с геологическими структурами. Связь эта определяет как направление движения, так и пространственные взаимоотношения различных типов движений и вместе с тем унаследованность и обращенность молодых тектонических форм. Структурно-вещественный (формационный) анализ позволяет на основе этих связей сделать следующие методические выводы:

1. Для установления проявлений современных тектонических движений необходимо располагать данными об общей тектонической структуре картируемой площади, обстоятельно выявить тенденции ее историко-геологического развития и сопоставить движения древнейших структур с современными движениями.

2. Проявление современных тектонических движений может найти свое отражение в несогласованности плана этих движений с древнейшими структурами; для этого необходимо располагать

данными о характере простираания новейших структур и об унаследованности современными движениями древних движений.

3. Основным, наиболее существенным признаком проявления современных тектонических движений является пространственное соотношение фаций различных генетических типов континентальных и морских отложений и спектра фаций; природа этого соотношения устанавливается по условиям трансгрессивного и регрессивного образования фаций, а также по их литологическому составу, мощности, границам перерывов и границам областей денудации и аккумуляции.

4. Проявление современных тектонических движений и их интенсивность часто можно определять по составу и мощности отложений. Известно, что тектоническими движениями определяется интенсивность денудации, хотя не всегда гранулометрические данные являются следствием только тектонических процессов. Мощность континентальных отложений в областях аккумуляции всегда является показателем проявления и амплитуды современных тектонических движений. Особенно характерными являются данные о колебаниях мощности аллювия и гипсометрическом положении отдельных горизонтов аллювиальной толщи.

5. Фиксация проявления современных тектонических движений должна осуществляться комплексным геологическим и геоморфологическим методом; последний включает данные об уровнях эрозионных срезов, о разности высот отдельных террас, свидетельствующих о поднятиях и опусканиях, о деформациях эрозионных поверхностей, о рисунке гидрографической сети — перехватах и меандрах, о покинутых и antecedentных долинах и т. д. Данные геоморфологии могут вносить существенные коррективы в геологические методы изучения проявлений современных тектонических движений.

6. Проявление современных тектонических движений может устанавливаться по сейсмическим данным; наличие сейсмодформаций на поверхности Земли и сейсмогравитационных смещений свидетельствует о мобильности рассматриваемой зоны Земли и, следовательно, о ее сейсмогенной природе. Исследование структуры остаточных сейсмодформаций в некоторых случаях может позволить определить положительный или отрицательный характер современных тектонических движений.

Итак, в содержание карты, отвечающей инженерно-геологическим задачам (дополнительно к элементам стратиграфической карты), должны входить данные о вещественном составе пород, структурных формах, тектонических движениях.

Приведенные выше методические приемы картирования проявлений современных тектонических движений могут решаться формационным анализом. Под формацией, как известно, понимают закономерное и естественное сочетание (парагенез, комплекс, ассоциация) определенного набора горных пород — осадочных, вулканогенных, интрузивных, — образующихся на определенных ста-

дях развития основных структурных зон земной коры*. Однако объемы указанных сочетаний пород для целой формации и для отдельных ее частей неопределенны и неоднозначны вследствие различного понимания классификационных признаков естественных тел, характеризующих их качественную обособленность и отношение к структурам земной коры. Н. С. Шатский подчеркивал, что формации представляют именно естественную ассоциацию, а не произвольный набор пород. Следовательно, научные аспекты в вопросах определения и выделения формаций должны конкретизироваться в систематизации естественных тел, составляющих формацию, и в установлении закономерностей парагенетических связей между ними.

Известно, что в любых естественных классификациях таксономические градации от высших до низших сопоставимы, однозначны по рангу и, следовательно, по объему. Только при этом можно говорить об определенной иерархии классификации объектов. В учении о формациях попытки установления такой иерархии имели формальное значение и не были связаны с понятием о формациях как закономерно и естественно возникающих вещественных ассоциациях. Говорилось о надформациях, подформациях, субформациях, а затем среди низших таксономических подразделений назывались уже пачки, пласты, слои, т. е. понятия иной классификационной категории, и представление о закономерности пространственного распределения вещества отходило на задний план.

Может быть, это можно оправдать тем, что для составления мелкомасштабных тектонических карт приходилось иметь дело только с таксонами высших рангов, но для общей методики картирования и инженерно-геологических карт необходимо тем большее расчленение крупных тел, чем крупнее масштаб составляемой карты.

Таким образом, в основу картирования должна быть положена классификация формаций. Однако общепринятой классификации формаций еще нет, а по поводу содержания имеющихся высказываются резкие критические замечания. Одно несомненно, что классификация формаций должна отражать механизм закономерного размещения вещества осадочной оболочки, статически запечатленной в геологических структурах.

Допустим, что сейчас можно говорить только о возможности использования принципиальных схем классификации формаций, удовлетворяющих поставленной цели или задаче. Такой принципиальной схемой может служить, например, классификация литологических формаций В. Е. Хаина. В ней приведены типовые формационные ряды основных геоструктурных зон (устойчивые и подвижные платформы, внешние и передовые прогибы, внутренние и межгорные прогибы); в этой схеме типы формаций и их ряды указываются со стадиями геотектонического цикла.

* См.: Хаин В. Е. Общая геотектоника. М., 1964.

Последнего слова в науке о классификации формаций еще не сказано и мы позволили себе высказать мысль, что составить такую классификацию, по-видимому, можно будет только тогда, когда геология будет располагать естественной систематикой парагенезов пород. Тем не менее в настоящее время, как считает Ю. А. Косыгин*, на основе формационного метода решаются весьма важные задачи. Так, во-первых, в практике тектонического картирования последних десятилетий стали доминировать структурно-вещественные признаки, в частности при выделении и характеристике платформенных и геосинклинальных областей; во-вторых, стало обычным обращаться к понятиям о геосинклинальных, платформенных и орогенных рядах формаций и выделять на их основе соответствующие структурные ярусы и этажи. Каждый из этих рядов отличается не только специфическим набором формаций, но и видами связи между ними, т. е. структурой. Формационный метод, по мнению того же ученого, не только позволяет выделить структурные элементы осадочной оболочки, но создает принципиальную возможность объемного районирования осадочной оболочки, при котором в качестве структурных элементов выступают трехмерные геологические тела, образованные определенными ассоциациями геологических формаций. Такими элементами могут быть выделяемые по формационному (структурно-вещественному) признаку структурные этажи или складчатые и покровные комплексы, образующие в осадочной оболочке систему крупных линзовидных или плоских геологических тел, изучение состава и пространственных взаимоотношений которых позволяет выяснить особенности его геологического развития на различных участках и уровнях.

Легко заметить, что в этих высказываниях, как мы уже заметили выше, вместе с подчеркиванием значения формационного (структурно-вещественного) метода картирования речь идет, главным образом, об объектах крупного ранга — формациях, формационных рядах и т. д.

13.5. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ФОРМАЦИОННОГО УЧЕНИЯ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

Для составления крупномасштабных инженерно-геологических карт (инженерно-геологические карты для больших и ответственных сооружений всегда крупномасштабны) необходимо разработать внутрiformационную классификацию, в которой могли бы быть выделены низшие таксономические единицы формаций, низшие члены парагенетических ассоциаций, отвечающие легенде крупномасштабных карт. Здесь мы как раз стоим у истоков тех разноречивых представлений о формациях, которые заставляют нас особо остановиться на их рассмотрении. Но прежде чем перейти к вопросам методики инженерно-геологического

* См.: Косыгин Ю. А. Основы геотектоники. М., 1974.

картирования на основе формационного метода, остановимся на рассмотрении принципиальной сущности самого формационного учения.

В общем виде основные положения формационного учения могут быть сформулированы следующим образом:

1. Вещественное строение земной коры позволяет наметить несколько геотектонических циклов ее развития. Из них с наибольшей достоверностью можно говорить о последних трех циклах — каледонском (начинается в кембрии или в самом конце протерозоя и кончается в девоне), герцинском (начинается в девоне и заканчивается в конце перми) и альпийском (охватывает полностью мезозой и кайнозой) — общих для весьма значительной верхней части земной коры. Менее ясно представление о докаледонских геологических циклах.

2. Общая схема колебательных движений земной коры в пределах каждого геотектонического цикла показывает, что в начале цикла области опускания малы и преобладающая роль принадлежит поднятиям; затем в середине цикла достигают своего максимума нисходящие движения, которые, вследствие инверсии геотектонического режима, сменяются поднятиями, заканчивающими развитие цикла.

3. В результате закономерно и периодически развивающихся колебательных движений земной коры соответственно меняются рельеф, размеры суши и морских бассейнов, а также отношения между восходящими и нисходящими движениями земной коры, что влечет за собой изменение условий накопления осадков, а следовательно, и изменение в характере самих осадков. Таким образом, колебательные движения земной коры обуславливают механизм формирования различных отложений и их комплексов.

4. В результате восходящих движений земной коры в начале и конце каждого указанного цикла площади суши достигают огромных размеров и формируются, главным образом, терригенные отложения и их комплексы; нисходящие движения в середине цикла приводят к сокращению суши и увеличению площади и глубины морских бассейнов, в связи с чем в это время формируются, главным образом, известняковые отложения.

5. Каждый геотектонический цикл (каледонский, герцинский и альпийский) соответственно сказанному включает три крупные стадии развития: каждой из них отвечают определенные комплексы отложений: нижнетерригенных, известняковых и верхнетерригенных. Эти большие комплексы отложений могут рассматриваться как мегаформации — комплексы отложений I порядка, включающие ряды формаций. Они ассоциируются с мегациклами.

6. Геотектонические циклы, включающие в отдельности три крупные стадии тектонического развития и соответственно три больших комплекса отложений или мегаформаций, отвечающих этим стадиям, осложнены колебательными движениями — макроциклами меньшей пространственно-временной амплитуды. Макроциклы обуславливают в общем тектоническом плане Земли опреде-

ленные, различные по своему характеру, ландшафтно-тектонические обстановки. С ними связано образование комплексов отложений II порядка, или собственно формаций. Формации являются, таким образом, отражением колебательных движений меньшей амплитуды, чем те, которые прослеживаются в пределах крупных стадий геотектонических циклов. Формации как комплексы отложений многопородны, но всегда отличаются определенными формациеобразующими признаками.

7. Сложившаяся в настоящее время номенклатура осадочных и вулканогенных формаций основана на совершенно различных и часто второстепенных признаках (кремнистость, битуминозность, присутствие того или иного полезного ископаемого, катагенетические изменения — аспидная, порфировая и другие формации) и поэтому по существу своему эклектична.

8. Ряды формаций в каждой мегаформации однотипны, однако порядок размещения формаций в мегаформациях различен. В нижнетерригенном комплексе преобладающее место принадлежит континентальным, вулканогенным и морским обломочным отложениям. Большое место занимают здесь также угленосные, пестроцветные и лагунно-соленосные формации. В известняковых комплексах господствующими являются морские карбонатно-обломочные и карбонатные комплексы пород. Второстепенное значение имеют морские обломочные, лагунно-соленосные, угленосные и другие формации и почти полностью отсутствуют вулканогенные формации. В верхнетерригенных комплексах преобладающее место вновь принадлежит морским обломочным, континентально-обломочным и вулканогенным породам и очень незначительное место — морским карбонатным и карбонатно-обломочным.

9. Магматические формации тесно связаны с процессами геотектогенеза. Они занимают большое место среди осадочных формаций и относятся к фазам положительных движений земной коры, обуславливающим ее наибольшие растяжения и приуроченным к заключительным и начальным стадиям смежных геотектонических циклов.

10. Внутриформационный парагенез и парагенетические связи в рядах формаций подчинены общим геологическим закономерностям литогенеза, обусловленным тектоническим и климатическим факторами. Закономерности эти определяют литологический состав и геометрические формы формаций, их размещение во времени (в вертикальном разрезе) и в пространстве (в горизонтальном разрезе) и, таким образом, могут быть использованы для понимания структуры горных массивов и нахождения в них полезных ископаемых.

11. В рядах формаций обычно выделяются комплексы пород под названием флишевых и метаморфических формаций. Однако флишевые комплексы пород (ритмически чередующиеся терригенные, карбонатные образования) не являются характерными для той или иной стадии развития геотектонического цикла и не отражают исторической последовательности в образовании формаций,

а обнаруживаются в морской обломочной, морской карбонатно-обломочной, морской карбонатной и в угленосной формациях как отражение локальных и периодически меняющихся взаимоотношений между скоростью поднятия и скоростью прогибания. Отсутствует также какая-либо исторически закономерная последовательность образования метаморфических комплексов пород. Любые осадочные и магматические породы внутри отдельных формаций могут быть метаморфизованы в связи с тектоническими и магматическими процессами. Поэтому метаморфизм, как явление вторичное, не определяет места метаморфических пород в рядах формаций и не может служить признаком формаций, под которыми прежде всего следует понимать парагенетические сообщества пород. Таким образом, наименования формаций вроде аспидной, спилито-кератофировой и других, не отражающих принадлежность их к определенным геоструктурным зонам и стадиям геотектонического развития, можно считать правомочными.

12. Под формациями следует понимать полифациальные комплексы (сочетания, сообщества) горных пород, парагенетически обособляемые в различных тектонических зонах земной коры в отдельные периоды ее эволюционного развития под влиянием одинаково направленных тектонических и климатических факторов.

13. В соответствии с понятием о формациях можно заключить, что каждая из них складывалась в условиях устойчиво существовавшей на Земле ландшафтно-тектонической обстановки и что отдельные части формаций, как многопородного комплекса, возникли в определенных фациальных зонах, в совокупности представляющих эту обстановку. Таким образом, фациальный анализ конкретной формации позволяет выделить среди большого комплекса входящих в нее отложений более мелкие фациально обособленные комплексы или субформации, среди этих последних — еще более мелкие комплексы (макрофации или генетические типы отложений) и, наконец, среди макрофаций — собственно фации и микрофации как разновозрастные и литологически однородные образования.

Если формации ассоциируются с такими стадиями геотектонического цикла, как макроциклы, то, следовательно, части формаций или субформаций можно связать с мезоциклами, а части субформаций — макрофации — с первичным по парагенезу пород циклом осадконакопления. Однако и части макрофаций — фации — также обязаны своим происхождением тектоническим движениям, представляющим непрерывный процесс развития, и могут рассматриваться как циклы (ритмы) низшего порядка.

Связь внутриформационных подразделений с цикличностью геологического развития является чрезвычайно важной и с практической точки зрения: на инженерно-геологических картах она характеризует формы и амплитуды тектонических движений на отдельных стадиях геологического цикла; на геологических разрезах она отражает ритмы и циклы осадкообразования (слоеобразо-

вания), что необходимо при анализе моделирования (физического, математического) оснований.

14. Все фации многопородных формаций образуются в совершенно определенной среде или отвечающей каждой из них фациальной обстановке, а формация, представляющая сочетание всех входящих в нее членов, также связана с определенной средой, отвечающей многостепенной фациальной обстановке, т. е. обстановке более высокого порядка. Следовательно, формации есть не что иное, как комплексы фаций. Набор фаций в данной конкретной формации ограничен определенными диапазонами ландшафтных (физико-географических), тектонических и климатических условий, чем определяются и наблюдаемые между отдельными формациями различия.

15. Механизм образования формаций представляет единый процесс, обусловленный колебательными движениями земной коры и климатическими условиями. Таким образом, образование осадочных формаций практически связано с наличием: областей суши, т. е. областей сноса терригенного материала; областей опускания, т. е. областей накопления и климатических факторов, определяющих физико-химические процессы седиментогенеза. Различная амплитуда колебательных движений в областях геосинклиналей и в областях платформ может определять собой различные мощности и геометрический облик формаций, но состав образующихся при этом пород всегда сохраняется в однотипных формациях и целиком подчинен общим законам литогенеза.

Выше говорилось о флишевых образованиях, как об отражении цикличности (ритмов) осадкообразования, конкретизирующейся в локальных и периодически меняющихся взаимоотношениях между скоростью поднятия и скоростью прогибания. Но анализ литолого-фациальной изменчивости осадочных толщ в вертикальном разрезе свидетельствует о всеобщем значении цикличности осадконакопления, закономерно связанной со всеми типами литологических формаций, хотя и менее отчетливо выраженной. Можно с достаточным основанием утверждать, что отдельные циклы низшего порядка представляют лишь фазы или стадии циклов высшего порядка. Во флишевых толщах, по С. А. Афанасьеву, различаются циклотемы с мощностью 2...10 см и временем образования 0,45...0,65 тыс. лет, 15...40 см с образованием в течение 1,7...2,5 тыс. лет и 60...150 см с образованием в течение 7...9 тыс. лет. Вместе с тем для флиша тем же автором установлены циклы (ритмы) еще более высокого порядка с мощностью 2,5...3,5, 10...15, 40...60 м и временем образования соответственно 25...35, 100...150 и 400...600 тыс. лет.

Цикличность в строении массивов осадочных толщ установлена во многих случаях для различных формаций как в геосинклинальных, так и в платформенных областях, причем изучение геологических разрезов свидетельствует о проявлении цикличности в широких диапазонах мощности циклотем и о времени их образования.

Слои различного литологического состава, литофации (или, в нашем понимании, просто фации) представляют циклотемы, а их

совокупность — осадочную оболочку земной коры. Циклотемы, вследствие периодичности процессов осадкообразования, обусловленных механизмом тектоники, являются членами естественных и закономерно возникающих ассоциаций пород; таким образом, они составляют парагенезы, сущность которых и лежат в основе учения о формациях. Выделение на инженерно-геологических картах циклотем — новый и очень важный метод исследования; он позволяет осуществить элементаризацию геологического пространства, различать природу структурных элементов геологических тел и их объемное (трехмерное) выражение. Это одновременно и путь строго произвольного нанесения на карту границ формаций — сложного комплекса структурно-вещественных ассоциаций.

Данные неотектоники являются большим положительным вкладом в инженерную геологию. Изучение современных и новейших движений земной коры позволяет судить об общих закономерностях ее развития. Можно отметить, что эти движения повсеместны, постоянны во времени и имеют направленный характер. Любые участки Земли в течение всей ее геологической истории или поднимались, или опускались, причем опускания сменялись поднятиями и наоборот. Скорости новейших движений различны для устойчивых (платформы) и подвижных (геосинклинали) областей и колеблются от 0,05 мм до 3,5 см в год.

Неотектоникой определяется формирование ландшафтно-тектонических зон на земной поверхности в течение неоген-антропогенного времени с характерными для них типами платформенного и орогенного рельефа, рисунком речной сети, климатической зональностью, проявлением сейсмичности, вулканизма и др. Как уже отмечалось, ландшафтно-тектонические зоны, устойчиво существующие на Земле, определяют собой условия формирования конкретных формаций. Для неоген-четвертичного времени различные, предопределенные неотектоникой ландшафтно-тектонические зоны характеризуются формациями, каждая из которых включает в себя все члены формационного парагенетического сообщества — субформации, макрофации и фации. Таким образом, неотектонические процессы можно рассматривать исходя из принципа актуализма, как процессы, позволяющие судить о прошлых геологических эпохах и палеогеографических обстановках этих эпох. Набор фаций в каждой данной конкретной формации этого времени ограничен определенным диапазоном ландшафтных (физико-географических), тектонических и климатических условий. Таким образом, инженерно-геологическое изучение неоднородности массивов осадочных толщ, сформировавшихся в неоген-четвертичное время, сводится по существу своему к анализу литолого-фациальных изменений пород в вертикальном разрезе и в пространстве (коррелятные отложения). Эти изменения фиксируются в связи с колебательными движениями. Конкретным выражением их является накопление глинистых или органогенно-хемогенных осадков в периоды относительного тектонического покоя или накопление грубообломочных осадков

в периоды интенсивных поднятий и связанное с ними усиление денудационных процессов.

Все изложенное выше является принципиальной основой для построения легенды инженерно-геологической карты. В соответствии с масштабом карты на ней могут быть и отдельные мощные комплексы пород, объединяемые в ряды формаций, и отдельные члены низшей таксономической системы — фации пород. Ничто не может с такой полнотой представить характеристику изучаемой в инженерно-геологическом отношении территории, как инженерно-геологическая карта, построение которой было выполнено на основе формационного анализа.

Нами предлагается для картирования следующий таксономический ряд внутриформационных подразделений: *мегаформация* — крупные сегменты осадочной оболочки, состоящие из набора формаций; *формация* — комплексы, или закономерно связанные парагенетические ассоциации горных пород; *субформация* — ассоциации горных пород, представляющие характерные, отличающиеся друг от друга части формаций; *макрофация* — генетические типы пород, являющиеся составными частями субформаций; *фация* — генетические ряды пород — однородные тела в составе макрофаций; *микрофация* — часть фации, выделяемая по характеру эпигенетических изменений.

Такие подразделения не противоречат структурно-вещественному их выражению в закономерно обособляющихся парагенетических ассоциациях горных пород. Предлагаемая таксономическая система включает все элементы формации от низшей таксономической единицы, представляющей простое однородное в литологическом отношении тело, до ее высшей единицы, представляющей ассоциацию таких тел. Каждый член основного таксона — формации, кроме того, занимает и определенное место в генетической иерархии осадочных пород. Генетический ряд может, например, представлять пески пойменной фации аллювиальной макрофации, флювиальной субформации и континентально-обломочной формации. Все элементы этого генетического ряда находятся в определенных закономерных парагенетических связях и в совокупности составляют определенное сочетание пород, представляющее формацию.

Глава 14

СОСТАВ И ОБЪЕМ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

14.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В настоящее время содержание и объемы производства инженерно-геологических изысканий для проектирования и строительства всех видов сооружений должны быть радикальным образом расши-

рены и конкретизированы в связи с проблемой охраны природы и рационального использования геологической среды, как среды обитания и жизнедеятельности человека. Инженерно-геологические изыскания должны состоять не только в том, чтобы изучить условия строительства тех или иных сооружений в различных геологических обстановках или определить, как вписать в эту обстановку сооружения для обеспечения их нормальной статической и гидравлической работы, но и как репродуцировать негативные воздействия сооружений на геологическую среду, вследствие которых она может оказаться непригодной для использования или даже нежизнеобитаемой для человека.

Современная проблема рационального использования геологической среды при воздействии на нее строительной деятельности человека становится основной задачей инженерной геологии. Поэтому инженерную геологию следует понимать как науку о геологической среде в ее взаимодействии с сооружением.

В настоящее время проектирование и строительство должно осуществляться на основе комплексной схемы охраны природы. При этом инженерно-геологические изыскания необходимо проводить таким образом, чтобы дать проектировщику возможность выбрать наиболее оптимальные решения по сохранению и улучшению геологической среды. Инженерно-геологические изыскания входят целиком в обязанности инженера-геолога, но инженеру-строителю необходимо знать состав, содержание и объемы инженерно-геологических изысканий на разных стадиях проектирования, поскольку он должен принимать активное участие в разработке программ на инженерно-геологические изыскания.

Под «изысканиями» следует понимать выявление различными средствами и методами наблюдений, поисков и разведки экономически оптимальных и технически целесообразных условий размещения и возведения сооружений с одновременной разработкой комплексной схемы рационального использования геологической среды в целях охраны природы. Изыскания вообще и в частности инженерно-геологические представляют в настоящее время специализированный самостоятельный вид производства.

Инженерно-геологические изыскания в СССР проводятся на основе государственных планов капитального строительства. Огромные масштабы строительства в нашей стране определили бурное развитие и непрерывное совершенствование научно-методических и технических средств изыскательских работ. Основная задача, которую в настоящее время решают изыскатели и инженеры-геологи, — это обеспечение проектов строительства качественной инженерно-геологической информацией, направленной на проектирование и возведение сооружений, гармонично соединенных с окружающей нас природой. С этой целью разработана целая серия нормативных документов: ГОСТов, СНиПов, руководств, регламентирующих проведение инженерно-геологических изысканий, проектирования и строительства.

Основным нормативным документом в настоящее время является СНиП II-9—78 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». В состав инженерно-геологических изысканий согласно СНиП II-9—78 входят: 1) сбор, анализ и обобщение литературных и фондовых материалов о природных условиях района (участка) строительства; 2) инженерно-геологическая рекогносцировка; 3) инженерно-геологическая съемка; 4) инженерно-геологическая разведка.

Изыскания выполняются на основе технического задания, которое изыскательские организации получают от заказчика. Согласно техническому заданию составляется программа изыскательских работ, сметно-договорная документация и оформляется разрешение на проведение изыскательских работ. Для выполнения работ, предусмотренных программой, создаются изыскательские подразделения — отряды, партии или экспедиции в зависимости от объема работ. Результатом изысканий является отчет, который подлежит регистрации во всесоюзном или территориальных геологических фондах. Инженерно-геологические изыскания выполняются для обоснования проектов строительства различных зданий и сооружений и поэтому проведение изысканий неразрывно связано со стадиями проектирования этих объектов. В настоящее время в соответствии с СН 202—81* выделяют предпроектные и проектные стадии.

На предпроектной стадии разрабатываются различные схемы развития и размещения отраслей народного хозяйства, производительных сил, комплексного использования территории, бассейнов рек и др.

На стадии проекта проектирование может быть двухстадийное — проект и рабочая документация или одностадийное — рабочий проект.

В одну стадию проектируются предприятия, здания и сооружения, строительство которых будет осуществляться по типовым и повторно применяемым проектам, а также технически несложные объекты. В две стадии осуществляется проектирование крупных и сложных объектов.

На предпроектной стадии изысканий изучается возможность и экономическая целесообразность проектирования и строительства тех или иных объектов в данном регионе на той или иной территории.

На стадии проекта и рабочих чертежей изыскания проводят для детального изучения территории, на которой будут размещены проектируемые сооружения, и для получения расчетных данных о свойствах грунтов и геологических процессах, необходимых для составления проекта и рабочих чертежей под конкретные здания и сооружения.

Различные сооружения по-разному воздействуют на геологическую обстановку, в которой они возводятся. Реакция воздействия проявляется соответственно их характеру (структуре), типу и другим геологическим особенностям. В одних случаях эта реакция обуславливает развитие оползней, в других — просадочность,

в третьих — пловучесть, в четвертых — сдвижение пород, в пятых — горное давление и т. д. Учитывая это, целесообразно иметь отчетливое представление о классах сооружений (табл. 14.1).

Таблица 14.1

Классы сооружений	Характеристика сооружений	Относительный коэффициент допустимых напряжений
Вне классов	Монументальные сооружения исключительно и исторического значения, а также рассчитанные на особую (свыше 100 лет) долговечность (электростанции, музеи, памятники и др.)	Устанавливается по особому соглашению с высшими органами по регулированию строительства 0,8 ... 1
1	Сооружения особо ответственные, отличающиеся большой капитальностью (гидротехнические, некоторые постоянные искусственные сооружения железнодорожного и водного транспорта, здания центральных государственных, научных и общественных учреждений и др., в исключительных случаях промышленные сооружения, характеризующиеся признаками значительных, предусматриваемых при их проектировании сроков службы 60 лет и более)	1
2	Обычные капитальные сооружения в нормальном, фабрично-заводском, жилищном и прочих хозяйствах (гражданские здания I и II классов, элеваторы, крупные больницы и учебные заведения и др., а также всякого рода сооружения, рассчитанные при проектировании на срок службы более 40 лет)	1 ... 1,25
3	Сооружения облегченного типа, подлежащие применению в массовом строительстве (все сооружения на транспорте, не вошедшие в высшие классы, массовое промышленное, жилищное и прочее строительство сооружений, рассчитанных при проектировании на срок службы не более 40 лет)	1,25 ... 1,67
4	Сооружения временного характера (склады, временные сооружения на железнодорожном и водном транспорте и др.), а также всякого рода сооружения, рассчитанные на срок службы не свыше 5 лет, а гражданские — не свыше 10 лет	

14.2. АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКОГНОСЦИРОВКА

Инженерно-геологические изыскания начинаются со сбора, анализа и обобщения всего картографического материала, климатологических, гидрогеологических и особенно геологических данных по району будущих изысканий. Глубокое и всестороннее изучение фондовых материалов позволяет разработать рабочую гипотезу об инженерно-геологических условиях района, обосновать направленность изыска-

ний, определить хотя бы приблизительно объем и методы исследований необходимых для изучения данной территории как места будущего строительства. На основании проведения этой работы и технического задания, выданного заказчиком, составляется программа изысканий.

Программа инженерных изысканий должна согласно СНиП II-9—78 содержать: наименование и местоположение объекта изысканий; краткую физико-географическую характеристику района; сведения инженерно-геологической изученности района изысканий; обоснование площадей и мест проведения изысканий, их объемы, методы и последовательность выполнения изысканий; требования к безопасному ведению работ и охране окружающей среды.

К программе изысканий должны быть приложены: копия технического задания, календарный план и смета.

Первые шаги совместной работы инженера-проектировщика и инженера-геолога обычно начинаются с рекогносцировочного обследования района намечающегося строительства.

Инженерно-геологическое обследование местности (рекогносцировка) выполняется с учетом всех имеющихся данных о изученности района. Это очень важная и ответственная часть изысканий, которую выполняют наиболее квалифицированные инженеры-геологи и строители-проектировщики, так как при рекогносцировке проводят: оценку качества и уточнение собранных материалов по району намечающегося строительства; сравнительный анализ вариантов размещения объектов строительства в зависимости от инженерно-геологических, гидрогеологических и геоморфологических условий и процессов в районе строительства; предварительный прогноз изменения геологической среды под воздействием строительства и эксплуатации предприятий, зданий и сооружений.

При рекогносцировке проводят маршрутные наблюдения для установления основных литологических видов грунтов, для выявления участков с неблагоприятными физико-геологическими процессами и явлениями. При рекогносцировочных работах при необходимости выполняют в небольших объемах проходку отдельных горных выработок, геофизические работы, опробование грунтов и подземных вод. На основании рекогносцировочных исследований составляется заключение, на основании которого могут приниматься определенные проектные решения, однако основное значение рекогносцировочные работы имеют для планирования последующих инженерно-геологических работ.

14.3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Как было сказано выше, детальность инженерно-геологической съемки зависит от ее масштаба, который определяется стадией проектирования, а также сложностью инженерно-геологических условий, видом строительства и классом проектируемых сооружений. На проектной стадии масштабы инженерно-геологических съемок устанавливают в пределах от 1 : 25 000 до 1 : 2000 и даже 1 : 1000 в

зависимости от класса сооружения, сложности геологической обстановки и, следовательно, степени воздействия сооружения на геологическую среду. Крупномасштабные съемки выполняют и на участках месторождений строительных материалов, а иногда такие месторождения иллюстрируются геологическими разрезами в аксонометрической проекции (рис. 14.1).

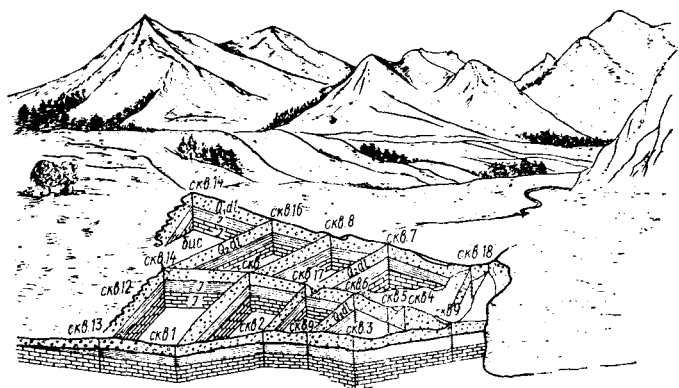


Рис. 14.1. Геологическое строение долины реки в аксонометрической проекции

Обычно створы высоких плотин и ее береговые примыкания, здания гидростанций, водосливные и водосборные сооружения покрываются съемкой масштабов 1:2000 и 1:1000. Для составления по этим съемкам инженерно-геологических карт используют все пробуренные в створе сооружений скважины и горные выработки (шахты, штольни и пр.).

Кондиции инженерно-геологических карт разных масштабов определяются количеством точек наблюдений на 1 км² площади. Если естественные обнажения отсутствуют, то они должны быть вскрыты посредством расчисток, канав, шурфов, штолен, а также буровых скважин. Инженерно-геологические съемки масштабов 1:10 000 дают объемное представление о геологическом строении изучаемой территории, и поэтому при этих съемках составляются в большом количестве геологические разрезы, карты-срезы, блок-диаграммы, модели трещиноватости массивов и схемы парагенетических ассоциаций пород в рядах геологических формаций и их таксономических подразделений. Крупномасштабные инженерно-геологические съемки выполняют инструментально с помощью различных геодезических методов.

В табл. 14.2 приводятся указания о количестве точек наблюдений на 1 км² съемки.

На стадии проекта состав инженерно-геологических изысканий представлен инженерно-геологической съемкой; геофизическими исследованиями; буровыми и горными работами; опытными фильтра-

ционными исследованиями: методами откачек и нагнетаний; опытным изучением механических свойств пород в условиях их естественного залегания (определение коэффициента сдвига, модуля сжатия упругого отпора и др.), а также исследования уплотняемости грунтов, используемых для возведения тела земляных плотин; опытными работами по пенетрационным и другим исследованиям; лабораторными исследованиями физико-механических свойств грун-

Таблица 14.2

Масштаб съемки	Категория геологиче- ской слож- ности	Общее коли- чество точек	Из них разведочных выработок при обнаженности		
			хорошей	удовлетво- рительной	плохой
1 : 100 000	I	1	0,02	0,1	0,35
1 : 100 000	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	0,1	0,4	1,0
	III	5,3	0,5	1,0	1,6
1 : 25 000	I	10,0	1,0	1,5	3,0
	II	16,0	2,0	3,0	5,0
	III	22,0	3,0	4,5	7,0
1 : 10 000	I	28,0	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				

тов и химического состава подземных вод; разведкой стройматериалов, определяющей запасы и качество строительных материалов.

Как видно, состав инженерно-геологических изысканий на стадии проекта и рабочей документации существенно расширяется за счет специальных видов исследования, которые на предварительном этапе изысканий были бы методически невозможны и нецелесообразны, например исследования механических свойств в условиях их естественного залегания до выбора места расположения соору-жения.

14.4. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время геофизические методы используют при изысканиях под различные виды строительства, а также при инженерно-геологических исследованиях состава и свойств пород и геологи-

ческих явлений. Наиболее широкое применение в инженерной геологии нашли следующие методы: сейсмические, электрические, радиационные, магнитные, термометрические и другие специальные методы, основанные на измерении пространственных и временных вариаций физических полей Земли.

Геофизические методы существенно ускоряют и повышают качество и точность инженерно-геологической съемки. Эти методы используют для изучения в естественных условиях процессов и явлений, происходящих в горных породах, а также для изучения физико-механических свойств горных пород, распределения этих свойств в пространстве и изменения их во времени.

Сейсмические методы основаны на изучении энергии и скорости распространения упругих колебаний в горных породах. Изучением упругих колебаний Земли, возникающих вследствие землетрясений, занимается сейсмология. Сейсморазведочные методы основаны на регистрации скорости распространения специально возбуждаемых в горных породах с помощью взрывов или ударов упругих колебаний. При акустических исследованиях в качестве источника колебаний используют специальные датчики высокочастотных колебаний. С помощью методов инженерной сейсмологии определяют сейсмическую опасность отдельных районов страны, оценивают влияние различных грунтовых условий на интенсивность сейсмических колебаний при землетрясениях и устанавливают количественные данные о колебании грунтов и сооружений при землетрясениях. Сейсморазведочные методы позволяют изучать состояние и свойства горных пород в условиях их естественного залегания. По данным скоростей упругих волн определяют основные упругие модули пород, осуществляют оперативный инженерно-геологический контроль за ходом техногенных процессов в грунтах при строительстве и др. Данные сейсморазведочных наблюдений используют при изысканиях и картировании для оценки инженерно-геологических и гидрогеологических условий залегания горных пород. Акустические исследования позволяют изучать влияние различных инженерно-геологических параметров на скорости распространения и поглощения упругих волн в горных породах. Это позволяет использовать акустические методы для изучения дисперсных и скальных пород, а также для моделирования при расчете прямых и обратных задач в различных сейсмических методах.

Электрические методы основаны на изучении естественных и искусственно создаваемых в Земле электромагнитных полей. Поскольку одним из основных параметров горной породы является ее удельное электрическое сопротивление, то, измеряя его с помощью различных электроразведочных методов, можно получить геоэлектрический разрез. На основании того, что между геоэлектрическим и геологическим разрезами имеется прямая однозначная связь, основано применение электроразведки для решения различных задач инженерной геологии. С помощью электроразведки производят уточнение геологического разреза при съемке, определяют

мощность водоносных пластов и глубину водоупоров, мощность выветрелой зоны у скальных пород, положение древних речных долин, полостей и воронок в закарстованных породах, устанавливают положение трещиноватых зон и тектонических разломов, определяют границы и свойства многолетних мерзлых пород.

Применение методов ядерной физики при инженерно-геологических исследованиях основано на измерении интенсивности естественных и искусственных излучений. Так как практически все горные породы содержат изотопы радия, эмонации которого выделяются во внешнюю среду, то представляется возможным регистрировать этот процесс. Это свойство пород положено в основу эмационного метода исследований, с помощью которого решаются задачи, связанные с выявлением структурно-тектонических образований, разломов, зон трещиноватости, а также ряд задач, связанных с развитием и проявлением современных геологических процессов. Для изучения таких важных свойств пород, как влажность и плотность, применяют радиационные методы, основанные на измерении поглощающей способности горных пород при прохождении различных излучений. При измерении влажности используют нейтронные и альbedo-нейтронные методы, при измерении плотности используют гамма- и мюонные методы.

Магнитные методы основаны на измерении особенностей магнитного поля Земли и магнитных свойств горных пород. Магнитные свойства массивов горных пород резко изменяются в зонах тектонических разломов и трещиноватости, а также в зонах геодинамической неустойчивости горных пород. По данным магнитной разведки устанавливают генезис и состав пород. Высокими магнитными свойствами обладают магнетит и полиметаллические руды, низкими — осадочные породы (например, известняки практически немагнитны). В инженерной геологии магниторазведку используют для решения задач геологического картирования, для отбивки контактов между разнородными по минералогическому составу породами, для выявления разломов.

Термометрические методы нашли широкое применение при изучении криогенных физико-геологических процессов и явлений в районах многолетней мерзлоты. По данным термометрических наблюдений, которые проводят в горных выработках, в основании сооружений, в специальных наблюдательных скважинах устанавливают верхнюю и нижнюю границы мерзлоты, изучают, картируют и прогнозируют термокарстовые процессы, процессы криогенного пучения и растрескивания грунтов, а также изучают влияние техногенных факторов на многолетнемерзлые породы.

В практике инженерных изысканий для решения практических задач инженерной геологии часто приходится использовать сразу несколько принципиально различных геофизических методов. Применение комплекса геофизических методов является весьма эффективным средством для однозначного решения задач по изучению свойств пород и инженерно-геологических процессов. Так, например, для изучения многолетнемерзлых пород эффективным явля-

ется комплекс электроразведочных и термометрических методов. При сейсмическом микрорайонировании применяют широкий комплекс сейсмических методов, включающий сейсмологические и сейсморазведочные наблюдения для оценки сейсмической опасности и приращения балла, а также используют электро-, магниторазведочные и радиационные методы для уточнения строения геологического разреза, картирования тектонических нарушений и прогноза землетрясений. Изучая оползневые явления, применяют сейсморазведочные методы для прослеживания границы скольжения оползня, а также используют эманиционную съемку для изучения и прогноза динамики развития оползневых процессов и т. д. Большинство инженерно-геологических задач можно решить с помощью комплекса геофизических методов.

В настоящее время происходит интенсивное развитие и внедрение геофизических методов в практику инженерно-геологических изысканий и исследований.

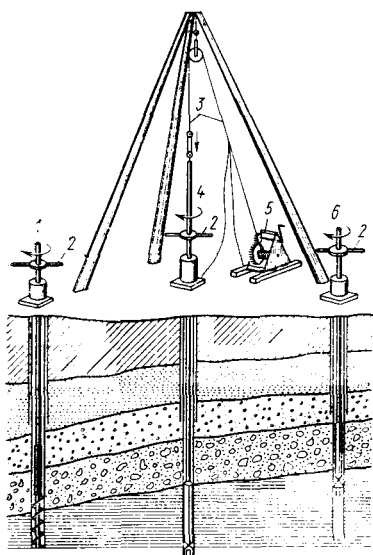


Рис. 14.2. Схема бурения с треногой:

- 1 — вращательное бурение змеевиком;
- 2 — хомут штанговый; 3 — канат; 4 — ударное бурение долотом; 5 — лебедка;
- 6 — вращательное бурение ложкой

14.5. РАЗВЕДКА БУРЕНИЕМ

Инженерно-геологические изыскания и исследования в целях разработки комплексной схемы рационального использования геологической среды заключаются в

изучении эффекта геодинамических процессов как следствия строительной деятельности человека.

При обычных традиционных изысканиях оползни, например, изучаются в условиях воздействия на них естественных сил и сил, возникающих вследствие вмешательства человека в природную обстановку. И те и другие силы являются причиной нарушения устойчивого гравитационного равновесия земляных масс. Исследование оползней будет, как видно, сводиться главным образом к прогнозированию их развития в отдаленном будущем с учетом скорости развития, охвата территории и изменения геологической среды под влиянием дополнительных сил от воздействия на нее созданных человеком сооружений. То же можно сказать о переработке берегов водохранилищ, просадочности, мерзлоте, навевании и развевании и других процессах. Очевидно, что такое исследование представляет эвристический подход к методике этого нового вида иссле-

дований, как теоретической системе логических и математических приемов и правил.

Изучение механизма геодинамических процессов во всех случаях, разумеется, должно начинаться с выяснения структуры геологической среды; тектонических форм, состава пород, их трещиноватости и скважности (плотности), водоносности и водопроницаемости и т. д.

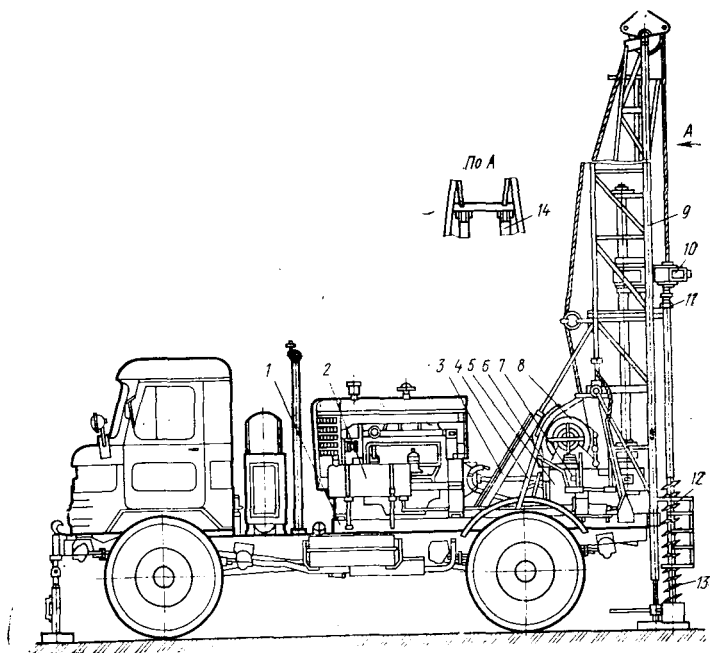


Рис. 14.3. Буровая установка УГБ-50М:

1 — рама; 2 — двигатель; 3 — цилиндры опускания и подъема мачты; 4 — ударный механизм; 5 — коробка передач; 6 — тормоза; 7 — пост управления; 8 — лебедка; 9 — мачта; 10 — вращатель; 11 — осветительные фары; 12 — ограждение; 13 — шнек; 14 — гидроцилиндры подачи

Для этого всегда необходимо располагать вспомогательными техническими средствами, к которым в первую очередь относится бурение разведочных, структурных и опытных скважин.

Производство буровых работ осуществляется при инженерно-геологических изысканиях и исследованиях различными способами: ручным (ударно-канатным) (рис. 14.2) и механическим (рис. 14.3). Механическое бурение осуществляют колонковыми, ударно-механическими и вибробуровыми установками. В некоторых случаях еще используют ручное бурение, например, когда возникают трудности доставки и установки механического станка к месту бурения.

В табл. 14.3 приведены некоторые технические характеристики установок механического бурения.

Колонковое бурение применяют в крепких породах. В породах, обладающих большой крепостью, бурение колонковым способом ведется дробовыми или алмазными коронками, в породах средней крепости — коронками, заправленными твердыми сплавами (победитом, вольфрамитом), и в породах небольшой крепости — стальными зубьями бурильной коронки. Колонковое бурение про-

Таблица 14.3

Наименование технических характеристик	Показатели установок						
	ЗНФ-650А	ЗНФ-300М	СБУДМ- 150-3ИВ	УКС-22М	БУГ-100	УГБ-50М	БУК-75-2М
Глубина бурения, м	650	300	150	300	100	50	75
Начальный диаметр, мм	200	131	151	600	426	230	325
Мощность электродвигателя, кВт	54	48	48	20	40	48	13
Высота станка, м	2,26	18,2	3,44	2,80	2,20	2,00	1,18
Масса станка с двигателем, кг	4390	2335	8700	7600	2500	6000	2380
Способ передвижения	Стационарный		Самоход	На подкатных осях		Самоход	На подкатных осях

изводят с промывкой забоя скважины водой или глинистым раствором. При этом применяют двойные колонковые трубы во избежание разрушения керна глинистых и легко размываемых пород. Колонковое бурение имеет большое преимущество перед другими способами бурения, давая из выбуриваемой породы керны — столбики пород ненарушенной структуры. По кернам можно восстановить характер пород в массиве — их состав, слоистость, трещиноватость, наличие пустот (например, карстовых воронок), прерывистость напластования, углы наклона слоев, поверхности тектонических разрывов и поверхности скольжения в теле оползней (рис. 14.4).

Ударно-механическое бурение используют в мягких и несвязных породах. Его можно применять и для связных пород, но керны породы при этом способе бурения получить нельзя. Ударно-механическое бурение наиболее рентабельно при бурении в песках, галечниках и валунах, а также в пльвунах, где любые другие способы бурения неприемлемы или нецелесообразны. Например, бурение в пльвунах или в валунах колонковым способом было бы совершенно нерационально. При ударно-механическом способе бурения используют различные буровые инструменты (ударное до-

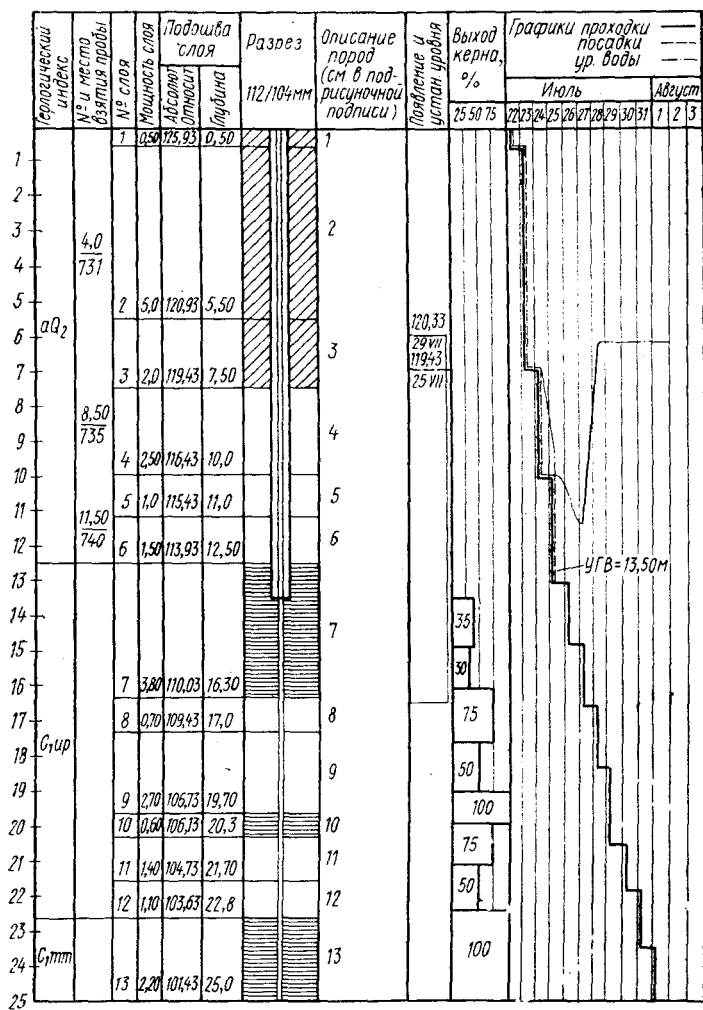


Рис. 14.4. Колонка буровой скважины:

1 — почвенно-растительный слой; суглинок, темно-бурый комковатый с корнями растений; 2 — суглинок желто-бурый, тяжелый пылеватый, сильно ожеженный слабослюдистый; 3 — суглинок светло-серый, иловатый, легкий, слабослюдистый; 4 — песок желтовато-серый, мелкозернистый, кварцевый; 5 — песок серый, мелкозернистый с небольшим количеством гальки и гравия; 6 — песок желтый, разнозернистый, кварцевый с большим количеством гравия и гальки, кремния и известняка; 7 — глина серая, известковая, уплотненная с щебенкой известняка крепкого, иногда окремненого; 8 — известняк серый, средний, крепкий, сильно трещиноватый; 9 — известняк серый, слабый с прослоями темно-серой глины; 10 — глина темно-серая, известковая, уплотненная; 11 — мергель серый; 12 — известняк серый, очень крепкий, окремненный плитчатый, мелко кавернозный; 13 — глина голубовато-серая, плотная, жирная, мергелистая

лото, желонку, змеевик, ложку). Долото применяют для раздробления валунов. Ударная его часть имеет различные формы — остроконечные, конические и др. Долото навинчивают на ударную штангу массой от 100 кг и более для нанесения более сильного удара по забою скважины. Ударно-механическое бурение в водонасыщенных песках производят желонкой. В нижней части желонка имеет башмачок с клапаном. При ударе о забой желонка погружается в песок; при подъеме клапан (шариковый или тарельчатый) закрывает отверстие и захваченный песок поднимается наверх. Сухой песок разбуливается забивным стаканом. При бурении водонасыщенных и сухих песков сразу же с подъемом породы желонкой или стаканом производится обсадка скважины трубами. Большая подработка скважины в этих заплывающих и обваливающихся породах недопустима. Бурение валунов и галечников весьма трудоемко, а скорость проходки ничтожна, не превышает часто 15...20 см в смену. Иногда же бурение в валунах и галечниках требует торпедирования скважины, т. е. производства подрывных операций на забое.

Вибробурение и шнековое бурение производят в связанных породах — глинах, суглинках, илах, глинистых супесях. Эти способы бурения не позволяют извлекать из скважин образцов с ненарушенной структурой. Поэтому монолиты пород из этих скважин извлекают специальными грунтокосами. В настоящее время наиболее совершенным является грунтонос марки ТКЗ-3, разработанный Гидропроектом, диаметром 105 и 123 мм. Для сыпучих пород используют грунтоносы с лепестковыми затворами.

Помимо скважин указанных диаметров структуры геологических массивов изучают еще и посредством скважин-шахт. Для этого используют специальные буровые установки ТМ и «Каликс». Агрегаты ТМ рассчитаны на бурение скважин до глубины 100 м, диаметром 1300, 850 и 1200 мм. Керны твердых пород соответственно имеют диаметры 1130, 750, 810 и 1140 мм. Высота кернов, извлекаемых из монолитных пород, достигает 2 м.

Колонковое бурение ведется с промывкой скважины водой, без промывки и с продувкой скважины воздухом. Вода или воздух подаются в забой скважин по бурильным трубам. Вода подается насосом, воздухокомпрессором. Колонковая труба имеет снизу производящую бурение (разрушение) коронку. В зависимости от того, какой коронкой производится бурение, различают следующие его виды: бурение твердыми сплавами, бурение дробовое и алмазное. Первый из этих видов бурения применяют в породах мягких и средней крепости, второй — для бурения крепких пород и третий — для бурения в очень крепких и слаботрешиноватых породах. По мере внедрения коронки в массив породы в колонковую трубу входит обуренный столбик породы, называемый керном. При полном или частичном заполнении колонковой трубы керном ее извлекают из скважины, коронку отвинчивают, вытаскивают керн и проводят его геологическое описание (см. рис. 14.4). При колонковом бурении приходится иногда бурить и в слабых по крепости породах. Для этого используют двойную колонковую трубу, кото-

рая состоит из двух труб, соединенных шарикоподшипниковым устройством. При бурении внутренняя труба не вращается и не разрушает заполняющую ее породу. Колонковые скважины могут закладываться под различными углами к горизонту и горизонтально.

Ударно-канатное бурение применяют для рыхлых и связных пород. К таким породам можно отнести галечники, пески, гравий, валуны, глины, супеси, суглинки. Для этого способа бурения имеется много марок установок. При инженерно-геологических изысканиях чаще всего используют установки БУК-75-2М.

Широко распространены и буровые пенетрационные установки УПБ-15М и УПБ-30М, смонтированные на одноосных прицепах. Технологические и метрические параметры установок следующие:

Наименование технических характеристик	УБП-15М	УБП-30М
Глубина бурения, м	15	30
Диаметр скважины начальный, мм . .	168	219
Диаметр скважины конечный, мм . .	108	89
Тип двигателя	УД-2	УД-8
Мощность, кВт	6	6
Грузоподъемность лебедки, кг	1000	1000
Масса установки, кг	1600	1600

Для отбора сплошного керна бурение приходится иногда проводить задавливанием наконечника бурильного инструмента в мягкую породу — глину, суглинок. Однако даже в такой породе задавливание становится затрудненным вследствие трения и получить керн породы с ненарушенной структурой и больших размеров невозможно. Поэтому одним из способов проходки скважин стало вибробурение. Этим способом быстро проходят мягкие породы, не содержащие гальку и валуны, и отбирают сплошной столбик породы. Вибробурение эффективно при глубине скважин порядка 20 м; на больших глубинах вибрация затухает. Отрицательным результатом вибробурения является нарушение естественной структуры мягкой породы, такой, как глина, ленточные глины, лёссы и суглинки. Поэтому при вибробурении используют специальные грунтоносы. Виброагрегаты монтируют на автомобилях ГАЗ-66. Широко используют вибростанок АВБ-1М, работающий на приводе двигателя автомашин со следующими техническими характеристиками:

Глубина бурения	20 м
Диаметр скважины	108...219 мм
Грузоподъемность лебедки	4 т
Мощность двигателя	25 кВт
Тип вибропогружателя	ВБ7
Грузоподъемность мачты	12 т
Высота мачты	7,3 м
Масса станка без бурового инструмента	5,3 т

В рыхлых и связных породах, не содержащих включений гальки и валунов, можно бурить скважины шнековым способом. Бурение это может осуществляться с большой скоростью, благодаря исключению из производственного процесса спуско-подъемных опера-

ций. Шнек представляет собой трубу, на которой напаяна стальная спиральная лента с шагом 0,6...0,8 м. Порода при вращении шнека поднимаются вверх по спирали. Диаметр шнека 135...230 мм. Длина 1,5 м в пределах каждого шага шнека. Шнековые станки не позволяют извлекать породу с ненарушенной структурой, поэтому шнек имеет приспособление для соединения с ним специального пробоотборника, помещаемого внутри шнековой трубы.

Буровые станки всех видов бурения с течением времени претерпевают конструктивные усовершенствования, создаются новые типы станков, например вместо установки УГБ-50М в настоящее время выпускается установка УГБ-2А с улучшенными характеристиками на базе автомобиля ЗИЛ-131. До настоящего времени применяют ручное бурение, которое используют в условиях заболоченных пространств, торфяников, на реках с плотов или со льда, в высокогорных районах и т. п. Бурение скважин при региональных изысканиях намечается с учетом глубокого анализа региональных особенностей изучаемой территории. В определенных случаях скважин на этом этапе закладывается много и такой глубины, какая требуется для решения поставленной задачи.

При изысканиях на стадии проекта буровые скважины располагают, руководствуясь данными инженерно-геологической съемки. Нельзя устанавливать шаблоны расстояний между скважинами, так как количество скважин зависит от длины створа (створы на р. Оби, на которых производилось бурение, достигали от 12 до 60 км, а створы на р. Вахше менее 1 км), от сложности геологического строения изучаемого участка и гидрогеологических условий. В зависимости от сложности геологических условий расстояния между разведочными выработками по створу принимают равными 100, 200 и 500 м, т. е. расстояния намечаются заранее и тем более часто, чем сложнее геологическое строение. Из сказанного следует, что методически это неверно. Сохраняя принцип наименьших затрат, каждая скважина должна закладываться не по заранее составленной геологической сетке, а по результатам инженерно-геологической съемки и ранее пробуренных скважин. При этом на одном участке створа скважины могут быть сгущены, на другом отстоять друг от друга на сравнительно больших расстояниях.

14.6. ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

Разведка на выбранных створах в стадии проекта ведется также и посредством горных выработок — шурфов, шахт, штолен. Эти выработки оказываются обязательными в тех случаях, когда необходимо отобрать большие образцы пород с ненарушенной структурой, провести исследования свойств и состояния пород в условиях их естественного залегания, в частности в зонах коры выветривания, описать трещиноватость горных пород на участках примыкания плотин, изучить характер тектонических разрывов и зоны опережающих их трещин, изучить заполнители трещин и разрывов глиной, вторичным кальцитом, другими солями и минеральными но-

воображениями. Шахты и штольни позволяют изучить на поверхности стенок трещины, штрихи и борозды скольжения, кливаж и сланцеватость пород и их текстурную анизотропию. Все эти дан-

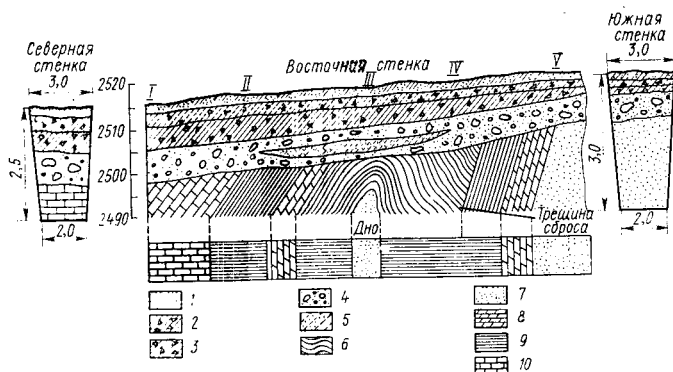


Рис. 14.5. Зарисовка канавы:

1—V — номера точек; 1 — растительный слой; 2 — супесь с щебнем; 3 — суглинок с щебнем; 4 — песок с валунами и галькой; 5 — песок сильно глинистый; 6 — сланцы; 7 — песок тонкозернистый слюдястый; 8 — доломиты; 9 — глины; 10 — известняк

ные могут представить весьма важные данные для тектонофизического и структурного анализа. Они важны также и для определения внутреннего естественного напряжения горных пород в массиве. К числу горных выработок относятся расчистки канавы, шурфы, шахты и штольни. Из шахт и штолен проходят еще и боковые горизонтальные, наклонные и ветрикальные выработки. Канавы (рис. 14.5) представляет собой открытую горную выработку; она закладывается обычно по склонам речных долин в целях изучения поверхностных отложений — элювия, делювия, пролювия. Канавы проходят различной длины; ширина их по верху 1...2 м, а по дну 0,3...0,75 м, глубина 3 м. Канавы позволяют определить углы падения

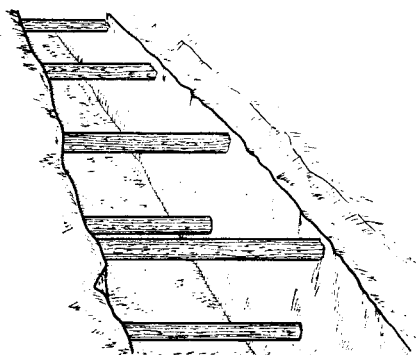


Рис. 14.6. Простейшее крепление канавы

коренных пород и поэтому закладываются вкрест простираения слоев. При проходке канав в рыхлых породах принимаются отношения откосов (отношение горизонтальной проекции стенки к вертикальной), примерно равные углу устойчивого откоса породы; в песках и других породах — 1, в суглинках — 1/5, в глинах — 1/10.

Проходку канавы в рыхлых и связных породах (пески, суглинки и глины) производят лопатой, в мергелях, мягких известняках, песчаниках, сланцах — кайлом и ломом. В скальных магматических и метаморфических породах и большой крепости осадочных породах проходку канав осуществляют с помощью взрывных работ. Канавы могут быть глубиной 3 м, но в этом случае стенки их должны быть закреплены горбылями, реже брусьями и досками (рис. 14.6).

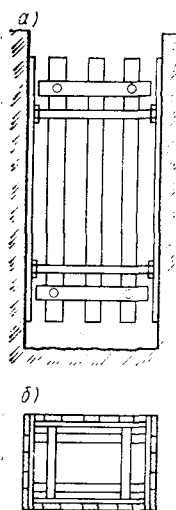
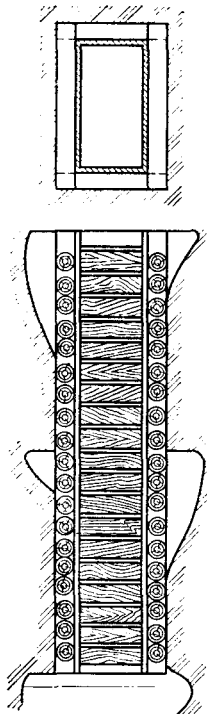


Рис. 14.7. Сплошное венцовое крепление:
а — в профиле; б — в плане

Рис. 14.8. Венцовое крепление на бабках



разбежку) и придавливают распорками (рис. 14.7). Венцовое крепление используют в глубоких шурфах. При сравнительно небольшом боковом давлении, т. е. в устойчивых породах, стенки шурфа крепят несплошным венцовым креплением на бабках. Крепление ведут снизу вверх. При проходе слабых и сыпучих пород применяют сплошное венцовое крепление. Венцы кладут сверху вниз (рис. 14.8). Забивное крепление осуществляют при проходке плавунув. На интервалах твердых пород устанавливают один в другом венцы и в промежутки между ними (в зонах залегания плавучих пород) забивают пали. Пали представляют заостренные снизу доски: эти доски оковываются листовой сталью.

* См.: Белый Л. Д., Нейштадт Л. И., Конярова Л. П. Инженерно-геологические исследования при проектировании и строительстве гидроэнергетических сооружений. М., 1953.

В крепких породах шурфы проходят с помощью взрывных работ. Шурфы круглого сечения называют дудками. Дудки проходят в устойчивых породах до глубины 10 м без крепления. При таких размерах дудки обходятся значительно дешевле шурфов.

Шахты представляют собой вертикальную горную выработку квадратного или прямоугольного сечения размерами в свету 2×2 м. При большой глубине шахты, например 100 м и более, размеры ее сечения могут быть более $2,5 \times 2,5$; 2×3 . Штольни — горизонтальные выработки, устье которых находится на дневной поверхности — склоне или обрыве. Поперечное сечение штолен обычно порядка 1,5...2 м, но размеры сечения назначаются каждый раз исходя из назначения штольни. Иногда штольни закладываются для бурения из них скважин, станки для бурения которых нельзя расположить снаружи вследствие большой крутизны склонов или их большой высоты. Размеры сечения штолен бывают большими в связи с выполнением в них специальных работ — исследования упругого отпора и других характеристик горных пород. Штольни крепят в зависимости от крепости и устойчивости пород. Чаще всего для крепления используют дверные оклады — трапецеидальные венцы. В крепких породах шахты и штольни проходят с помощью взрывных работ.

14.7. ОПЫТНЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Потери воды из водохранилища, фильтрационные деформации пород в основании и примыканиях плотины — весьма важные гидравлические процессы, являющиеся следствием водопроницаемости пород. Показателем водопроницаемости служит коэффициент фильтрации. Действительно, коэффициент фильтрации дает возможность судить о количестве воды отнесением к определенному сечению фильтрационного потока — градиенту, равному единице времени (см/с, м/сут и т. д.). Коэффициент фильтрации определяют различными способами: грубо ориентировочно по данным зернового анализа, пользуясь различными эмпирическими формулами, опытным путем на образцах породы в лаборатории и в природных условиях методом опытных откачек, наливов и нагнетаний.

Наиболее надежные и точные результаты определения коэффициента фильтрации дает метод опытных откачек из скважин. В настоящее время для производства опытных откачек используют электропогружаемые насосы ЭПЛ-4, ЭПЛ-6. Они обеспечивают спокойное равномерное понижение уровня воды в откачиваемой скважине. Откачки бывают кустовые, когда опытная скважина, из которой производят откачку, окружена наблюдательными скважинами, в которых измеряют понижение уровней воды. Контрольные скважины позволяют более точно определить форму депрессионной воронки и радиус влияния откачки. Откачки бывают и одиночные, когда в расчетные формулы входит лишь величина понижения уровня воды в опытной скважине. Чаще же всего

откачку производят при наличии рядом с опытной одной-двух наблюдательных скважин.

Опытные откачки необходимо предусматривать в программе инженерно-геологических изысканий в выбранном створе по берегам на продолжении оси плотины, в одном или нескольких пунктах современного дна долины и в местах, представляющих естественные опасные пути фильтрации — древние речные долины, тектонические разломы, карстовые полости. Геологическими условиями определяется выбор метода исследования явлений фильтрации. В слоистых, неодородных породах наиболее применима кустовая откачка; в однородных — откачка с одной-двумя контрольными скважинами; в породах, закарстованных и разбитых зияющими трещинами, — наливы в одиночные скважины; в скальных породах с мелкой трещиноватостью — нагнетание воды в одиночные скважины.

Наливы и нагнетания производят для получения данных об удельных водопоглощениях. Следует иметь в виду, что бурение каждой инженерно-геологической скважины должно в обязательном порядке сопровождаться откачкой, а также нагнетанием или наливом. По каждой скважине должна быть тщательно задокументирована ее гидрогеологическая характеристика, отдельно изучены водоносные горизонты и их гидравлические связи.

14.8. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Лабораторные работы по исследованию физических и механических свойств горных пород проводят во всех стадиях инженерных изысканий. Это понятно, так как инженерно-геологическую карту составляют уже с самого начала предпроектных работ. Лабораторные исследования при инженерно-геологических изысканиях включают также и изучение состава подземных и поверхностных вод. В комплекс лабораторных исследований свойств горных пород, выполняемых в полевых и стационарных лабораториях, входят определения: плотности частиц грунта ρ_s , г/см³, ГОСТ 5181—78; плотности грунта, ρ , г/см³, ГОСТ 5182—78; естественной влажности w , %, ГОСТ 5180—75; зернового состава d , мкм, мм, ГОСТ 12536—79; числа пластичности I_p , %, ГОСТ 5183—77; границы текучести w_L , %, и границы раскатывания w_p , %, ГОСТ 5183—77; относительного набухания $\delta_{\text{н}}$, ГОСТ 24143—80; относительной просадочности $\delta_{\text{пр}}$, ГОСТ 23161—78; засоленности грунтов; коэффициента фильтрации k , м/сут; модуля деформации $E_{\text{общ}}$, МПа, ГОСТ 23908—79; сопротивления сдвигающему усилию τ , МПа, ГОСТ 12248—78; временного сопротивления сжатию $R_{\text{сж}}$, МПа, ГОСТ 23740—79; петрографического состава, структуры и текстуры скальных пород.

Многие из этих показателей свойств грунтов определяют в полевых условиях.

Отбор проб породы для лабораторных исследований производят тремя методами: точечным, бороздовым и валовым. Точечный

метод заключается в отборе нескольких образцов небольшого размера с небольшого участка слоя породы. При бороздовом способе образцы проб отбираются сплошь, обычно вкрест простирания слоя. Валовой метод — это, собственно, исследование всех образцов, извлеченных из буровой или горной выработки. Бороздовой и валовой методы отбора проб используют в основном при разведке строительных материалов. Необходимо всегда придерживаться определенных правил отбора, хранения, консервации и транспортировки проб пород, а также установленных практикой размеров проб. Лабораторные исследования пород проводят для литологической классификации; определения прочностных и деформационных характеристик пород и установления по ним расчетных показателей; выяснения специфических свойств отдельных пород, представляющих опасность для нормальной работы сооружения (засоленность, высокая степень размываемости, суффозионная неустойчивость и др.).

Подземные и поверхностные воды используют для определения их агрессивности по отношению к бетону, а также степени минерализации и химического состава, что необходимо для решения вопросов водоснабжения, орошения и ирригационного строительства.

На основе лабораторных исследований естественных вод составляют карты минерализации и химического состава, являющиеся важнейшими документами проектов мелиорации земель.

Лабораторные исследования свойств пород выполняют до и в процессе полевых испытаний. Полевые испытания грунтов проводятся для определения модуля деформации и сдвига, коэффициента фильтрации, удельного водопоглощения и др. Например, к весьма важным полевым исследованиям относится определение уплотняемости глинистых грунтов в ядре плотины. Для этого грунты изучают до полевых испытаний в лаборатории, а в процессе полевых испытаний ведется лабораторное изучение свойств грунтов для установления оптимальной влажности, пластичности, плотности, показателей сжатия и сдвига грунта, укатанного в теле ядра плотины, и т. д.

Следует всегда учитывать, что для оценки места расположения сооружений необходимо располагать данными о свойствах горных пород и прежде всего пород, находящихся в основании сооружений. Следует всегда иметь в виду, что сооружение и массив горных пород, на котором сооружение возводится, являются двумя взаимосвязанными элементами целого. Один из крупнейших итальянских специалистов в области плотностроения проф. Сименс говорил, что плотина, которую мы видим, это только половина сооружения: другая ее половина находится ниже топографической поверхности и представляет собой основание плотины. В настоящее время мы можем расширить это представление, указав на обязательность наследственной совместимости геологической структуры и сооружения, обеспечивающей как естественность геологического развития структуры, так и надежность и долговечность сооружения. То, что свойства горных пород должны обладать высоким сопротивлением сдвигу и сжатию, малой водопроницаемостью, не-

растворимостью и общей устойчивостью, известно. Однако помимо этого огромное значение имеет физическое родство пород массива и материала сооружения. Именно поэтому земляные плотины следует возводить на песках, суглинках и глинах, а бетонные — на породах с модулем деформации, близким к модулю деформации бетона.

Глава 15

ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

15.1. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Для составления проекта гидротехнических сооружений, как и для проектирования всех других сооружений, установлена определенная стадийность. Весьма существенно, что при проектировании гидротехнических сооружений выполняются внестадийные предпроектные изыскания. Во введении уже отмечалось, что все сооружения должны проектироваться на основе составления комплексных схем охраны природы и в части инженерно-геологической на основе схем рационального использования геологической среды. Поэтому предпроектным работам должна быть отведена исключительно важная роль в общих задачах инженерно-геологических изысканий. Если раньше предпроектные работы рассматривались в качестве рабочей гипотезы, а инженерно-геологические изыскания в лучшем случае ограничивались рекогносцировкой, то в настоящее время всякое крупное строительство может осуществляться лишь на основе разработки территориальной комплексной схемы охраны природы. Разумеется, что составление такой схемы уместно в предпроектный период, с тем чтобы при проектировании иметь материал, позволяющий точно определить те последствия, которые могут произойти в природной обстановке под воздействием проектируемого сооружения.

В результате предпроектных инженерно-геологических работ должно быть получено отчетливое представление о рельефе и гидрографии территории, стратиграфии и литологии, тектонике и, в частности, о новейших и современных тектонических движениях, о геоморфологии и истории геологического развития, гидрогеологии и физико-геологических явлениях, как об активных, так и о потенциальных (скрытых, до времени не проявляющихся).

Следует иметь в виду, что на долю предпроектных изысканий ложатся главным образом камеральные работы, выполняемые на основе анализа существующих государственных карт: топографической, геоморфологической, геологической, тектонической, неотектонической, гидрогеологической, физико-геологических явлений,

сейсмической, инженерно-геологической и др. Для территорий, которые не имеют каких-либо из этих карт, обязательно ведут маршрутные изыскания по наиболее характерным в геоморфологическом и гидрографическом отношениях пересечениям изучаемой территории. Выполняют в большом объеме геофизические работы, а также в малых объемах буровые работы.

Анализ имеющегося литературного и фондового геологического и другого материала, а также маршрутные дополнительные изыскания в виде маршрутной инженерно-геологической съемки или площадной съемки масштаба 1 : 200 000, 1 : 100 000 и 1 : 50 000, геофизические методы разведки и бурения должны обеспечить территориальную комплексную схему охраны природы данными, позволяющими осуществить рациональное использование геологической среды. К этим данным относится прежде всего обоснованный выбор мест для размещения сооружений, гарантирующих от вредных и опасных воздействий их на окружающую территорию. Кроме того, естественно, предпроектные изыскания должны вестись в целях обоснования проектного замысла.

Таким образом, на предпроектном этапе конечным результатом работ является схема комплексного использования реки или ее части и технико-экономическое обоснование целесообразности строительства первоочередного объекта на выбранном участке.

Предпроектные инженерно-геологические изыскания уточняются при производстве изысканий для разных стадий составления проекта. При этом на стадии разработки рабочей документации инженерно-геологический материал приобретает более углубленный, более точный и достоверный характер. Размеры площадей изучаемых территорий по мере перехода от низших к высшим стадиям проектирования становятся меньше. Если на предпроектном этапе территорией предполагаемого размещения сооружений, например гидроэлектростанций, может быть часть водотока или целый водоток, т. е., скажем, река Обь от Новосибирска до Салехарда или река Амур от слияния рек Шилки и Аргуни до г. Благовещенска, то на стадиях составления проекта и рабочей документации, когда выбор места размещения сооружения является законченным этапом, площадь территории охватывает только площадь застройки и площадь водохранилища в наиболее примечательных его участках.

Для гидротехнических сооружений установлены следующие стадии проектирования: технический проект и рабочая документация.

Большое значение имеют еще и специальные исследования, выполняемые в процессе эксплуатации сооружения. Исследования эти заключаются в наблюдениях над осадкой сооружения, фильтрацией, фильтрационными деформациями, смещением пород в местах примыкания к берегам, растворением соледержащих пород, современными тектоническими движениями, сейсмическими толчками и др.

Состав, содержание и объемы инженерно-геологических изысканий на всех указанных этапах, а также и в послепостроечный период различны. На предварительном этапе главное заключается в

региональном анализе инженерно-геологических условий территории, часто охватывающей огромные пространства. Для корректировки анализа проводят в большом объеме геофизические исследования (электрические, сейсмические и др.); инженерно-геологическую съемку маршрутную и в масштабе от 1 : 200 000 до 1 : 50 000 (инженерно-геологические карты, составляемые по данным съемочных работ, служат для целей районирования речных долин) выполняют в сравнительно небольших объемах и, главным образом, в местах, намечаемых для возведения ответственных сооружений; буровые работы; опытные фильтрационные исследования и выборочные лабораторные исследования свойств горных пород. Производят поиски и предварительную оценку запасов местных строительных материалов.

15.2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГОРОДОВ И ПОСЕЛКОВ

Проектирование городов и поселков осуществляется при разработке генерального плана освоения территорий. Проектирование городов, имеющих 500 и более тысяч человек населения, разрабатывают в два этапа: 1) предпроектный — для технико-экономического обоснования развития города — сопровождается эскизом генерального плана; 2) проектный, когда создается генеральный план города.

Проектирование городов с населением от 250 до 500 тыс. человек, а также городов-курортов выполняют в две стадии. При этом генеральный план застройки сопровождается проектом планировки пригородной зоны в масштабе 1 : 25 000...1 : 50 000. Для городов с меньшей численностью населения и для поселков городского типа генеральный план дополняется схемой планировки пригородной зоны.

Вторая стадия проекта — рабочая документация — это разработка генерального плана, заключающаяся в составлении инженерно-геологической карты масштаба 1 : 10 000...1 : 20 000, а также детальной планировки города и его промышленных районов в тех же масштабах с учетом класса сооружений. План в том или ином указанном масштабе является основой проекта. Территория города согласно этому проекту разбивается на жилые районы, микрорайоны, а также промышленные предприятия и другие застройки со сроком действия в течение 3...5 лет в зависимости от размещения строительства первой очереди. Предварительная стадия проектирования городов и поселков ставит, таким образом, задачу составления плана рационального использования территории точно так же, как это делается и на предпроектном этапе проектирования гидротехнических сооружений. Инженерно-геологические изыскания являются на этой стадии рекогносцировочными, но изучение и оценка инженерно-геологических особенностей геологической среды в пределах изучаемой территории требуют обоснования правильного выбора мест для размещения зданий и сооружений.

На первой стадии проектирования городов и поселков определяют архитектурно-планировочное размещение комплексов зданий и сооружений и решаются все другие вопросы детальной планировки, которые возникают по ходу разработки проекта и данным, характеризующим несущую способность оснований. На этой стадии производится выбор возможных вариантов естественных оснований и фундаментов, а также дается обоснование организации производства строительных работ.

Вторая стадия — это составление рабочей документации. На основе детальной планировки разрабатывают проект нового города или реконструкции существующего. Основной задачей технического проекта является конструирование фундаментов. Как видно, инженерно-геологические изыскания для решения указанных вопросов должны содержать сведения о свойствах горных пород (грунтах), об их поведении под нагрузкой от веса зданий и сооружений, рекомендации о глубине заложения фундаментов, об условиях вскрытия котлованов и производства строительных работ. После проекта, как обычно, составляются рабочие чертежи.

Состав инженерно-геологических изысканий при проектировании городов и поселков остается тем же, как и при изысканиях для гидротехнического строительства и для любых других видов строительства, поскольку они всегда представляют собой комплекс исследований — съемочных, разведочных, опытных, лабораторных и камеральных, в котором все элементы в одинаковой мере необходимы для изучения инженерно-геологических условий строительства.

Вместе с тем в содержании инженерно-геологических изысканий для проектирования городов и поселков есть свои особенности, обусловленные характером работы зданий и сооружений этого типа и местом их расположения. На территориях существующих городов нет естественных обнажений, производство геофизических исследований затруднено электрическими помехами, сотрясениями от движения транспорта, работы заводов и др. Затруднено и производство горно-буровых работ. Поэтому выбор способов бурения каждый раз необходимо привязывать к конкретным условиям места: застройкой, различного рода препятствиями для установки бурового станка, характером пород и др. В большинстве случаев исследования грунтов целесообразно проводить посредством статического и динамического зондирования.

Для обоснования проектов планировки городов особое значение приобретают исследования месторождений строительных материалов. Содержание лабораторных исследований грунтов имеет здесь свои особенности, заключающиеся в микроскопических определениях петрографического состава скальных пород, их структуры и текстуры.

Говоря о содержании инженерно-геологических изысканий при проектировании городов и поселков, надо отметить, что оно включает много новых и сложных вопросов, так как города с их пригородными зонами занимают большие территории, на которых рас-

положены или намечаются строительством крупные сооружения — метрополитен, мостовые и подземные переходы, автодорожные туннели, гаражи, аэропорты и хозяйственные объекты.

Составление генерального плана и детальной планировки городов требует выявления инженерно-геологических условий строительства в пределах каждого отдельного района, отличающегося своими специфическими чертами. Таким образом, территория застройки должна быть охарактеризована по типу одинаковых, сходных или разнящихся признаков в отдельных своих участках. Это и есть геологическая типизация или районирование, выполняемое на основе инженерно-геологической съемки масштаба 1 : 10 000 — 1 : 25 000.

Типизация геологических участков весьма необходима при проектировании городов, она помогает установить определенный комплекс инженерных мероприятий, обеспечивающих прочность и надежность зданий и сооружений, возведенных в условиях развития разнообразных геологических процессов. К таким процессам можно отнести плывучесть пород, особенно принадлежащих к образованиям ледникового комплекса. Строительство на насыпных грунтах, просадочных лёссах, многолетнемерзлых грунтах, в условиях развития карста, в пределах речных долин, по которым проходят селевые выносы, а склоны подвержены оползням и т. д., — все это должно быть учтено и закартировано на основе метода типизации.

15.3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГРАЖДАНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Проектирование и строительство зданий и сооружений в целях обеспечения их надежности, долговечности и экономичности выполняют на основе изучения и анализа инженерно-геологических условий. К этому обязывает массовость строительства, короткие сроки ввода его в эксплуатацию, охват строительством самых разнообразных географических зон с различным климатом и геологическими условиями, характеризующимися мерзлыми, просадочными, соленосными грунтами, развитием геологических процессов.

Инженерно-геологические изыскания для обоснования проекта гражданских зданий и сооружений приобретают особо ответственный характер в связи со строительством высотных зданий. Это сложные по своей конструкции сооружения с огромным хозяйством, обеспечивающим тепловые, водоснабженческие и энергетические нужды здания. Изыскания и проектирование гражданских и промышленных зданий и сооружений выполняют в две стадии: проект и рабочая документация. Выбор места строительства того или иного здания или сооружения производится на основе материалов генерального плана, о чем говорилось выше при рассмотрении условий проектирования городов и поселков.

Для составления проекта зданий и сооружений инженерно-геологические изыскания ведут в два этапа. На первом этапе выпол-

няют весь комплекс работ для выбора участка строительства, на втором этапе — детальные исследования на выбранном участке, причем важнейшими в комплексе этих исследований являются лабораторные определения свойств грунтов, поскольку главными задачами являются определения прочности и деформируемости грунтов в основании зданий и сооружений, их устойчивости с учетом фактора нагрузки и вопросы фундаментостроения. Особенно большое значение приобретает исследование свойств грунтов при строительстве гражданских зданий и сооружений на свайных основаниях.

На стадии составления рабочей документации (чертежей) в задачи изысканий входят дополнительные исследования, уточняющие данные, полученные при изысканиях в проекте, и геологическую характеристику тех мест строительного участка, которые вызывают какие-то сомнения в достаточности их оснащения.

Часто гражданские здания и сооружения проектируют в одну стадию, называемую рабочим проектом. Одностадийному проектированию при отсутствии генерального плана предшествуют предварительные изыскания, в задачу которых входит выбор участка воздействия здания и сооружения. Предварительные изыскания сразу же переходят в следующую фазу стадийного проектирования — рабочий проект.

1. Для любого вида строительства инженерно-геологические изыскания на предпроектном этапе проектирования должны дать материал, обосновывающий возможность такого использования территории, при котором обеспечивается охрана природы и определяются мероприятия по борьбе с негативными последствиями, связанными с влиянием строительства на окружающую геологическую обстановку.

На предварительном этапе изысканий необходимо оценить характер рельефа, условия поверхностного стока, условия размещения вредных производств и др.

2. Детальные изыскания для проекта или рабочего проекта, на основе которых принимают оптимальные конструктивные решения и производятся расчеты устойчивости зданий и сооружений, выполняются посредством буровой и горной разведки, полевых исследований грунтов основания методами статического и динамического зондирования и опытной забивки свай. На этой стадии проектирования решается также вопрос об искусственных основаниях. Глубину скважин и горных выработок при производстве описываемых изысканий определяют простыми расчетами. Глубина выработки должна быть не меньше глубины распространения зоны активного сжатия (для сжимаемых пород).

В проектах гражданских зданий и сооружений важное место отводится решению задач о неравномерной осадке сооружений. Задачи эти чрезвычайно сложные, и поэтому в процессе инженерно-геологических изысканий необходимо учитывать все условия и факторы, которыми определяется поведение грунта под нагрузкой. Грунты основания, как уже отмечалось, могут быть мерзлыми, про-

садочными, плавучими, соленосными и др., поэтому температурный режим, режим влажности, водоносности, влагонасыщение, водоотдача грунтов представляют собой столь изменчивые факторы, что всякого рода расчеты осадки грунтов под нагрузкой являются крайне условными. Осадки зданий и сооружений представляют большую опасность. Они являются следствием неоднородности грунтов в основании, представляя собой или различные по гранулометрии образования, или образования различных генетических типов, или чередующиеся фации морских отложений.

Осадки сооружений возникают также и при литологически однородном основании, но при неравномерных на него нагрузках от веса сооружений, что часто обусловлено конструкциями зданий и сооружений.

15.4. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Вопрос водоснабжения и канализации, рассматриваемый в проектах различных строительных объектов, теснейшим образом связан с инженерно-геологическими условиями территорий, подлежащих застройке. Условия сооружения водозаборов подземных вод, эксплуатации запасов подземных вод и сброс их после хозяйственно-питьевого и технологического использования в водоемы, реки, низменности и подземные горизонты являются теми элементами, которые входят в основу проекта.

Условия сооружения водозаборов различны для гидротехнического, гражданского, промышленного, городского, транспортного и других видов строительства. Поэтому инженерно-геологические изыскания при проектировании водоснабженческих и очистных сооружений являются сложными.

Гидротехнические (энергетические) сооружения располагают на реках. Близость к воде не требует столь тщательного исследования подземных вод, как для обеспечения водой комплексно-промышленных узлов, линейных и других сооружений. В настоящее время территориальные условия строительства резко изменились, в будущем они изменятся еще в большей мере. Энергетические сооружения, связанные с созданием водохранилищ, оказывают существенное влияние на режим подземных вод, а следовательно, и на эффективность водозаборов. Иные условия проектирования водозаборов характерны для областей, на которые не распространяется влияние гидрографической сети. Инженерно-геологические изыскания при проектировании водоснабжения ведут в целях выявления источников воды удовлетворительного качества и постоянного дебита.

Для выполнения инженерно-геологических изысканий в целях водоснабжения главный инженер проекта должен разработать и выдать изыскателю-геологу техническое задание. В техническом задании указывается район производства изысканий, стадия или этап проектирования, а также требуемое количество воды как

для хозяйственно-питьевого, так и для технологического использования в настоящее время и в перспективе. В техническом задании, кроме того, указываются также данные о потреблении воды с сезонным, суточным и часовым коэффициентом неравномерности, о степени исследования химико-бактериального состава воды и физических свойствах воды, об очередности ввода в эксплуатацию водозаборных сооружений, о размещении водозаборных и водопотребляющих объектов, о возможности замены подземных вод поверхностными, сроках изысканий и составлении отчета об изысканиях и особенностях проектного замысла и вытекающих из него специальных требований к изысканиям.

Техническое задание выдается и на выполнение инженерно-геологических изысканий в предпроектном этапе проектирования, и на выполнение изысканий в окончательных стадиях разработки проекта в составе приведенного выше перечня. В процессе составления программы на инженерно-геологические изыскания некоторые положения технического задания на предварительном этапе изысканий могут быть сокращены, но всегда следует иметь в виду необходимость выявления на этом этапе эксплуатационных запасов вод, их качества и технико-экономических показателей освоения и эксплуатации отдельных водоносных горизонтов.

При составлении программы следует обосновать целевое назначение и размеры хозяйственно-питьевого водопотребления, потребности в воде на технические процессы (например, питание паровых котлов ГРЭС), а также на технические нужды, в частности охлаждение конденсаторов, компенсаторов и др. Для этого необходимо учитывать характер водозаборов, подразделяемых на групповые и одиночные. Групповые подземные водозаборы представлены несколькими скважинами или колодцами, расположенными на расстояниях, меньших радиуса влияния производимой из них откачки. Таким образом, при определенном режиме их эксплуатации они взаимодействуют. Одиночными водозаборами называют такие скважины или колодцы, откачка воды из которых не создает взаимодействия их.

Инженерно-геологические изыскания при проектировании водоснабжения по своему составу, объему и содержанию отличаются от изысканий для проектирования других видов строительства, но основные требования к изысканиям остаются теми же: столь же существенное значение принадлежит инженерно-геологической съемке, геофизическим методам разведки, буровым, горным, опытным, лабораторным и другим видам изысканий, но вместе с тем в состав изысканий включается специальная гидрогеологическая съемка, изучение зон санитарной охраны и определение общего баланса подземных вод.

Предпроектные инженерно-геологические изыскания для технико-экономического обоснования проекта водоснабжения складываются из комплекса разнообразных исследований, позволяющих найти источники водоснабжения, выявить геологические условия, с которыми эти источники связаны, а также наметить места размеще-

ния водозаборных сооружений. В задачу технико-экономического обоснования входит также и выбор места строительного объекта, т. е. потребителя воды, что является важным элементом проекта водоснабжения.

Следует иметь в виду, что предпроектные инженерно-геологические изыскания для ТЭО проекта водоснабжения, в особенности гидрогеологические исследования, должны производиться с достаточной полнотой, обеспечивающей объективные оценки изученных источников водоснабжения. Изысканиями необходимо оценить общие водные ресурсы территории в отношении их количества и качества; обосновать выбор подземных вод в качестве источника водоснабжения; обосновать размещение водозаборов и определить их производительность; определить возможность расширения водозаборов за счет реконструкции действующих пунктов водоснабжения; оценить условия подачи воды от водозаборов и к местам потребления и составить технико-экономические варианты переброски воды; составить обоснованный прогноз изменений водозаборов в связи с их эксплуатацией.

Содержание полевых инженерно-геологических изысканий при ТЭО проекта водоснабжения сводится прежде всего к сбору и систематизации фондового, литературного и другого материала. По степени изученности различные территории относятся к первой, второй и третьей категориям. В районах первой категории специальные полевые работы обычно не ведутся и непосредственное знакомство с местностью осуществляется посредством рекогносцировки. Если территория характеризуется наличием артезианских вод, то в ТЭО должны быть даны карты-схемы и геологические разрезы, составленные на основе литолого-стратиграфического и тектонического анализа. Карты-схемы и геологические разрезы должны служить основанием для программы изысканий на более высоких стадиях проектирования и для ориентировочного размещения водозаборов.

Если хозяйственно-питьевое водоснабжение или технологическое намечается осуществить за счет подземных вод, заключенных в аллювиальных и других широко распространенных типах четвертичных отложений, то необходимо также в качестве материала технико-экономического обоснования проекта водоснабжения составить карту-схему с геологическими разрезами в продольном и поперечном направлениях. Этот материал будет служить важным показателем границ распространения подземных вод, глубины их залегания, мощности водоносного горизонта или нескольких горизонтов, а также направления подземного стока. В ТЭО проекта водоснабжения дается также оценка санитарно-гидрогеологических условий эксплуатации водозаборов подземных вод.

В местностях территорий второй и третьей категорий предварительные изыскания приобретают большую детальность; на территориях третьей категории могут выполняться уже геофизические и буровые работы в связи с их малой геологической освещенностью.

При проектировании изыскания проводят в две стадии: проект-

ная для обоснования выбора площадки и стадия рабочей документации для изучения выбранной площади. На стадии проекта выявляются все типы подземных вод и их запасы для использования в целях водоснабжения. Программой изысканий, выполняемых на первой стадии, предусматривается комплекс съемочных, разведочных и лабораторных работ в объеме, зависящем от категории сложности территории. Инженерно-геологическую съемку на этом этапе выполняют в масштабе 1 : 100 000 для простых и осложненных условий, в масштабе 1 : 50 000 для условий средней сложности, в масштабе 1 : 25 000 для сложных и в масштабе 1 : 10 000 для условий весьма сложных.

Инженерно-геологическую съемку проводят в границах, ограничивающих намеченные в проекте сооружения и трассы линейных сооружений. Вместе с инженерно-геологической выполняют специальную гидрогеологическую съемку; масштабы этой съемки принимают на один порядок больше инженерно-геологической, а площади охватывают районы водопотребления целиком и зависят от геологических и гидрогеологических условий, главным образом от обеспеченности района подземной водой.

Инженерно-геологические и гидрогеологические съемки сопровождаются геофизическими методами разведки (электрическое зондирование, профилирование, метод заряженного тела и др.). При изучении подземных вод как источников водоснабжения наиболее эффективным методом является электроразведка. По совокупности съемочных и геофизических (электроразведочных) данных на первом этапе изысканий к проекту устанавливают глубину залегания подземных вод, направление движения подземных вод, ориентировочную мощность водоносных горизонтов, а также химический и химико-бактериальный состав вод.

В ряде случаев при сложных и весьма сложных геологических и гидрогеологических условиях изучаемого района на первом этапе изысканий к проекту проводят буровые работы. Необходимость в них может возникать при литологической неоднородности геологического разреза — резкой сменой водоносных и неводоносных пород, тектонических нарушениях — складчатости и разрывах, закарстованности пород, определяющей режим подземных вод, при различных явлениях гидромерзлотного комплекса и т. д. Поэтому в производстве инженерно-геологических изысканий на стадии проекта необходимо с самого начала производства съемочных работ учитывать геоморфологические особенности изучаемой территории. Особенности эти могут служить показателем сложности геологического строения обследуемого района и его гидрогеологической характеристики. Например, если при производстве изысканий в областях долин равнинных рек фиксируются гипсометрически выдержанные ряды террас с симметрией, свидетельствующей о ненарушенном залегании аллювиальных отложений, то, следовательно, имеются достаточные основания полагать, что в галечниках террас (в породах водоносных) забор воды может быть осуществлен на широкой площади их распространения в любом пункте. Сложность

геологического строения обнаруживается по резкости форм рельефа, его асимметрии.

При назначении границ съемки в пределах речных долин необходимо учитывать местоположение водозаборных сооружений. Последние должны быть расположены выше максимальной подпорной отметки, поэтому границы съемки должны намечаться на еще более высоких отметках. Если изыскания на первом этапе технического проекта требуют разведки бурением, то места заложения скважин устанавливают на основе выполненных съемочных и геофизических работ.

Свои характерные особенности имеют области междуречий, области ледниковых отложений с межморенными и подморенными водоносными горизонтами, области трещинных вод в массивах скальных пород, области артезианских бассейнов и карстовые области со специфической гидрографией и также особыми условиями режима и динамики подземных вод.

Долины горных рек в гидрогеологическом отношении значительно отличаются от долин равнинных рек. Приуроченность подземных вод к различным геоморфологическим элементам горных долин не отличается закономерностью распределения. Часто, например, непосредственно рядом с руслом водотока аллювиальные отложения не содержат грунтовых вод (р. Терек). Обнаруживаются они лишь на расстоянии 200...300 м от русла у подножья коренного берега долины. Скальные берега горных долин вследствие трещиноватости пород дренированы. Но в то же время буровые скважины, заложенные на крутых коренных склонах, неожиданно обнаруживают трещинные воды с постоянным дебитом. Часто по отдельным трещинам выходят мощные источники минерализованных вод, насыщенных углекислым газом. По расположенным рядом трещинам выходят источники пресной воды.

Конечным результатом инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий к проектам водоснабжения является оценка эксплуатационных запасов подземных вод. Оценка дается на основе всестороннего анализа конкретной геологической обстановки с помощью гидродинамических, гидравлических и балансовых методов. Для этого на стадии составления рабочей документации к проекту прежде всего выполняют инженерно-геологические работы, подтверждающие правильность выбора участка водозабора, а затем проводят детальные исследования на выбранном участке. Правильность выбора участка водозабора определяют посредством опытных работ. Для этого в местах намеченных водозаборов производят пробную откачку. Если результаты откачки показывают, что количество воды удовлетворяет предъявленным требованиям и остается постоянным в течение длительного времени, а качество воды не противопоказано с точки зрения намечаемого использования, то местоположение водозабора можно считать соответствующим поставленным целям.

Детальные исследования проводят посредством заложения разведочных опытных и наблюдательно-режимных скважин на линии

ях, пересекающих территорию вдоль и поперек. Разведочные скважины бурят для уточнения геологического строения и гидрогеологических условий, опытные — для определения эксплуатационных запасов подземных вод и наблюдательные — для изучения режима подземных вод. Все пробуренные скважины служат для уточнения ранее выполненных инженерно-геологических и гидрогеологических съемок, для точного выявления условий режима и динамики подземных вод, их пространственной связи с областью питания и разгрузки, с зоной санитарной охраны и перспективой строительства очистных, канализационных и других сооружений.

В состав детальных исследований водозаборов входят подробные лабораторные исследования химизма минерализации и биологических (бактериальных) свойств подземных вод, привязанных к их режиму и водному балансу. При детальных изысканиях для водоснабжения серьезное внимание должно быть обращено на то, что запасы подземных вод являются абсолютно неприемлемыми, если они могут быть рассчитаны только на ограниченный срок эксплуатации. Вместе с тем недопустимым надо считать и несоответствующее природным запасам подземных вод водопотребление. Часто расчетное водопотребление не соблюдается при эксплуатации, и стремясь забрать в 3—4 раза больше воды из эксплуатационных запасов, водопотребители резко ухудшают естественный режим и водообильность подземных бассейнов. В этой связи производство детальных исследований водозаборов при инженерно-геологических изысканиях для водоснабжения должно основываться на применении классификации различных типов подземных вод. В зависимости от степени разведанности месторождений, изученности качества вод и условий эксплуатации запасы подземных вод подразделяют на четыре категории — *A*, *B*, *C*₁ и *C*₂.

Категория *A* — это запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей полное выяснение условий залегания, строения и величин напора водоносных горизонтов, а также фильтрационных свойств водовмещающих пород, выяснение условий питания водоносных горизонтов и возможности восполнения эксплуатационных запасов, установление связи оцениваемых подземных вод с водами других водоносных горизонтов и поверхностными водами. Качество подземных вод изучено с достоверностью, обеспечивающей возможность использования их по заданному назначению на расчетный срок водопотребления. Эксплуатационные запасы подземных вод на участке проектируемого водозабора определены в процессе эксплуатации опытно-эксплуатационных или опытных скважин.

Категория *B* — это запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей условий залегания, строения и питания водоносных горизонтов, а также установление связи подземных вод, запасы которых объединяются с водами других водоносных горизонтов и поверхностными водами, определение приближенного количества естественных водных ресурсов как источников восполнения эксплуатационных запасов

подземных вод. Качество подземных вод изучено в такой мере, которая позволяет установить возможность использования их для заданного назначения. Эксплуатационные запасы подземных вод на участке проектируемого водозабора определены по данным опытных откачек или по расчетной экстраполяции.

Категория C_1 — это запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение в общих чертах строения, условия залегания и распространения водоносных горизонтов. Качество подземных вод изучено в такой мере, которая обеспечивает предварительное решение вопроса о возможности их использования по заданному назначению. Эксплуатационные запасы подземных вод определены по данным пробных откачек из единичных разведочных выработок, а также по аналогии с существующими водозаборными или примыкающими к ним участками, по которым запасы подземных вод того же водоносного горизонта определены по категориям A и B .

Категория C_2 — это запасы, установленные на основании общих геолого-гидрогеологических данных, подтвержденных опробованием водоносного горизонта в отдельных точках, либо по аналогии с разведанными участками. Качество подземных вод определено по пробам, взятым в отдельных точках водоносного горизонта, либо по аналогии с изученными участками того же горизонта. Эксплуатационные запасы подземных вод определены в границах выявленных благоприятных структур и комплексов водовмещающих пород.

Составление проектов и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих водозаборных сооружений, а также предприятий, использующих подземные воды, производят при наличии на участке намечаемого водозабора утвержденных ГКЗ эксплуатационных запасов подземных вод категорий A и B в количестве, обеспечивающем проектную производительность водозаборов в течение расчетного срока водопотребления; при этом запасы категории A должны составлять не менее 50%.

На участках с весьма сложными гидрогеологическими условиями, где выявление запасов подземных вод по категории A в процессе разведки нецелесообразно, допускается проектирование и выделение капитальных вложений на строительство водозаборных сооружений на основании запасов категории B . Возможность проектирования и строительства водозаборных сооружений и предприятий при отсутствии или наличии меньших запасов подземных вод категории A против запасов, указанных в настоящей классификации, устанавливается ГКЗ при утверждении запасов. В процессе проектирования при определении возможных перспектив расширения водозаборных сооружений должны учитываться также запасы подземных вод категории C_1 .

Инженерно-геологические изыскания для проектов водоснабжения включают буровые работы. С помощью бурения скважин оп-

ределяют количество и качество воды. Результаты изучения водонесных горизонтов и бассейнов подземных вод и их запасов во многом зависят от технологии буровых работ.

15.5. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

В народном хозяйстве СССР железные и автомобильные дороги являются одним из необходимых и важных видов строительства. Огромная сеть дорог на такой огромной территории, как СССР, пересекая реки, обусловит необходимость строительства мостовых переходов, представляющих, принимая во внимание величину рек, грандиозные капитальные сооружения.

Строительство Байкало-Амурской магистрали потребовало сооружения 20 мостов общей протяженностью 10 км через такие реки, как Лена, Верхняя Ангара, Амур, Витим, Селемджа, Зея и др. Некоторые из мостов будут представлять собой уникальные сооружения длиной в несколько километров и высотой опор, достигающих десятка метров.

Строительство железных и шоссейных дорог как линейных сооружений всегда связано с разнообразными геологическими условиями, встречающимися на отдельных участках их расположения. Тысячекилометровые трассы дорог протягиваются то в районах распространения многолетней мерзлоты, то в областях распространения болот, то в сейсмически активных сейсмоопасных зонах и т. д. Именно поэтому дорожное строительство предъявляет большие и ответственные требования к инженерной геологии. Инженерно-геологические изыскания для обоснования проектов железных и автомобильных дорог представляют комплексную задачу, решение которой должно обосновать выбор трассы дороги, условия возведения железнодорожного и автомобильного полотен, туннелей, мостов и др. В задачи изысканий входит также изучение минеральных строительных материалов и источников водоснабжения.

Мостовые переходы через реки или мосты бывают железнодорожные, автомобильные, пешеходные, а по конструкции — металлические, железобетонные, бетонные, каменные и деревянные. Мосты состоят из опор и пролетов. При двух опорах мост называют однопролетным, при нескольких опорах — многопролетным. Крайние опоры многопролетных мостов называются береговыми устоями, промежуточные — быками. Береговые устои и опоры являются сооружениями, несущими нагрузку, и, следовательно, весьма ответственными; они требуют надежного в геологическом отношении основания.

1. На предпроектном этапе изысканий ставится задача технико-экономического обоснования целесообразности строительства дороги и ориентировочного определения трассы, а также выявления возможного изменения ее направления на отдельных участках. Как и во всех случаях, предпроектные изыскательские работы со-

стоят из сбора и изучения фондового геологического и картографического материала, опубликованного в докладах АН СССР, в периодической литературе по региональной инженерной геологии и других изданиях, а также аэрофотосъемочного материала.

Полевые предпроектные изыскания включают также рекогносцировочные и съемочные работы, но вместе с тем часто возникает необходимость в производстве горно-буровых работ, когда трасса дороги проходит в сложных геологических условиях. Очередность выполнения полевых инженерно-геологических изысканий на предпроектном этапе можно, таким образом, представить себе следующим образом: в первую очередь изучается фондовый и литературный геологический, а также картографический материал. На основе изучения этого материала разрабатывают программу рекогносцировки, включающую аэровизуальное обследование территории.

Данные рекогносцировки после их изучения позволяют перейти к съемочным работам. Инженерно-геологическую съемку на этом этапе производят в масштабе $1:100\,000 \dots 1:200\,000$ в зависимости от сложности геологических условий. Съемка сопровождается аэрофотосъемочными работами, результаты которых вносят в инженерно-геологические карты много существенных дополнений.

Инженерно-геологическая съемка на предпроектном этапе изысканий является одним из важнейших методов исследования, позволяющим получить все необходимые данные для выбора трассы дороги. Ширина площади съемки по трассе дороги должна быть порядка 0,5 км. Варианты трассы могут быть намечены как в пределах этой площади, так и за ее пределами, но следует иметь в виду, что, несмотря на предварительный этап изысканий и разработки проекта, инженерно-геологические съемочные работы являются исключительно ответственными, так как определяют собой в дальнейшем проектировании все технически важные решения.

Требования проекта к изысканиям при выборе трассы дороги обычно состоят в том, чтобы с необходимой вероятностью обосновать минимальную протяженность трассы с учетом неизбежных отклонений ее от прямой линии; рациональные объемы земляных работ при возведении полотна дороги и наиболее выгодные с точки зрения разработки и транспортировки места расположения карьеров; качество, удовлетворяющее нормам залежей грунтового материала, и условия его укладки или намыва, обеспечивающие устойчивость и плотность полотна и бесперебойное движение по нему поездов и автомашин; преимущества одного из конкурирующих вариантов трассы дороги; преимущества инженерно-геологических условий участков возможного подхода к мостовым переходам с учетом особенностей рельефа, благоприятствующего возведению береговых выемок и устоям с малыми объемами земельно-скальных работ; надежность прочностных и деформационных свойств пород основания мостовых устоев и опор и отсутствие в основании (главным образом, в русле реки) мощных толщ аллювиальных отложе-

ний, неоднородных по составу и содержащих прослой илов и других слабых грунтов.

Как видно, из перечисленных требований проекта следует, что на предварительном этапе проектирования и предпроектных изысканиях иногда приходится прибегать к буровой разведке. Методы съемки, геофизические методы разведки, результаты геоморфологического анализа не дают возможности, например, оценить мощность и охарактеризовать пестроту толщи аллювиальных отложений в русловой части реки (особенно русл больших и глубоких рек). Получить указанные данные можно только посредством заложения скважин. Для этого наиболее применим ударный способ бурения. Бурение производят с плотов, барж и чаще всего зимой со льда. Минимальный начальный диаметр русловых скважин должен быть 150... 200 мм. Это гарантирует наиболее точное литологическое расчленение пород в геологическом разрезе и мощности отдельных напластований.

2. Проект дорог и мостовых переходов включает разработку ряда сооружений и устройств, таких, как дренажные, водоотводные, подпорные, противооползневые, противообвальные, противозрозионные и др. Все это свидетельствует о сложности инженерно-геологических изысканий в связи с многообразием возникающих вопросов и индивидуальным (при отсутствии всякого шаблона) подходом к их решению.

Детальные инженерно-геологические изыскания для разработки рабочей документации ведут в составе видов исследования, обычных для изысканий. Содержание же и объемы изыскательских работ при проектировании дорог и мостовых переходов могут быть самыми разнообразными. Поэтому для выявления оптимального содержания отдельных видов изысканий и их объемов необходимо провести большую и тщательную предпроектную работу по изучению положения дорог между намечаемыми проектом пунктами.

Основными данными для проекта являются характеристики рельефа и геологии. Они могут быть конкретизированы в следующих показателях: расчлененность рельефа, оврагов, положения, подъемы, водоразделы, речные долины и др.; распространение и границы просадочных, многомерзлотных и других грунтов, изменяющих свои свойства и состояние при действии побочных естественных и искусственных факторов; развитие физико-геологических явлений — заболачивания, просадок, провалов, оползней, снежных обвалов, селей, размывания речных берегов, наледей, подземных льдов, солифлюкций, оплывов, карста и др.; свойствах и состоянии горных пород, условиях их залегания (простирации и падении) и устойчивости; глубина залегания подземных и, в частности, грунтовых вод, возможность использования их для целей водоснабжения.

При производстве инженерно-геологических изысканий для составления проекта дорог и мостовых переходов приходится учитывать, что строительство будет связано с устройством выемок, полувыемок, насыпей и полунасыпей. Выемки могут быть очень глубо-

кне, достигая нескольких десятков метров. Очевидно, это является серьезным вопросом как для инженера-геолога, так и для проектировщика-строителя, если принять во внимание неустойчивость создания откосов и необходимость найти решение, как обеспечить их устойчивость в условиях эксплуатации.

С методической точки зрения для установления степени устойчивости откосов и выемок рыхлых пород необходимо изучение их гранулометрического и минералогического состава, водоустойчивости, влагоемкости, водопроницаемости и сопротивления сдвигу.

В расчетах угла залегания откосов в выемках все указанные данные являются определяющими. Одним из существенных элементов задачи заложения откосов является многослойность геологического разреза и количество поверхностей скольжения, соответствующее смене одного слоя другим.

Те же данные и подход к расчету устойчивости откосов лежат в основе проектирования насыпей.

Особый характер инженерно-геологические изыскания приобретают при проектировании дорог и мостовых переходов на отдельных уникальных участках, например участках сложного геологического строения, вероятность встречи с которыми на трассах протяженностью в сотни и тысячи километров почти безусловна. Детальность исследования на таких участках выходит за рамки общей программы, поэтому, приступая к изысканиям для разработки проекта, нужно предусматривать дополнительные объемы детальных исследований, включая детальную буровую разведку. Эти дополнительные работы должны быть отмечены.

Подводя итоги, можно сказать, что для обоснования проекта дорог и мостовых переходов должны быть выполнены инженерно-геологические изыскания.

1. На предпроектной стадии изысканий проводят инженерно-геологическую съемку масштаба $1:100\,000 \dots 1:200\,000$, освещающую условия строительства на всем протяжении трассы дорог (дополняется геофизическими данными и материалами аэровизуальных наблюдений). В отдельных случаях применяют методы буровой разведки. В процессе съемки производят поиски строительных материалов, месторождения отмечают на карте.

2. На стадии разработки проекта и рабочей документации вдоль трассы дороги выполняют инженерно-геологическую съемку масштаба $1:50\,000$, а на отдельных уникальных по геологической сложности участках — масштаба $1:10\,000$. Инженерно-геологическая съемка названных масштабов дополняется материалами геофизической разведки и аэрофотосъемочными. Инженерно-геологические карты, составленные в результате съемочных работ, должны обязательно сопровождаться геологическими разрезами вдоль трассы и поперечниками к ней.

3. Бурение скважин на стадиях составления проекта и рабочей документации является важнейшей составной частью изысканий. Скважины бурятся по всей трассе дорог и мостовых переходов, причем расстояния между ними, определяемые на основе инженер-

но-геологической карты, могут находиться в пределах от 100 м до 1 км в зависимости от степени сложности геологических условий. Бурение производят и в пунктах размещения подсобного строительства подпорных стенок, дренажей, водосбросов и др.

4. На участках весьма сложных объемы буровых работ, глубину скважин и способы бурения определяют соответственно решаемым вопросам.

5. По данным гидрогеологического изучения трассы дороги устанавливают места водозаборов, размещения водоотводных труб и т. д. Проводят опытные откачки для определения дебита скважин и групповые откачки для определения эксплуатационного запаса подземных вод.

6. Лабораторные работы включают исследования физических, механических и водных свойств грунтов, показатели которых необходимы для расчетов устойчивости возводимых на этих грунтах сооружений. При проектировании автомобильных дорог необходимо особое внимание уделить исследованию пучения и морозостойкости грунтов. Исследуют также свойства строительных материалов, намеченных для использования в строительстве полотна дорог. Определяют целесообразность возведения полотна дорог способом отсыпки и укатки или же способом гидромеханизации. Помимо лабораторных исследований проводят полевые испытания, а именно статистическое и динамическое зондирование.

7. В районах трассы, на которых в связи с низкими отметками рельефа полотно дороги должно быть возведено из насыпных или намытых грунтов, проводят детальные разведочные работы на строительные материалы. Отсутствие в данном районе месторождений крайне нежелательно, так как значительно удорожает строительство.

При производстве геологической разведки месторождений строительных материалов должны быть оценены и сопоставлены способы организации и производства их разработки. Часто полезные залежи строительных материалов находятся ниже поверхности грунтовых вод (разработка таких залежей затруднена, но технически вполне возможна). При проектировании дорог и мостовых переходов строительные материалы необходимы не только для сооружения полотна дороги, но и для различных видов других сооружений. Учитывая это, необходимо вести разведочные работы на месторождениях глины, песка, гравия, галечника и камня.

По материалам инженерно-геологических изысканий на участках мостовых переходов составляют: план участка в масштабе 1 : 1000, на который наносят проектируемые береговые устои и опоры; инженерно-геологическую карту масштаба 1 : 2000... 1 : 10000 в зависимости от сложности участка мостового перехода (см. рис. 13.7); геоморфологическую карту масштаба 1 : 2000... 1 : 10000; геологические разрезы по линии мостового перехода и геологические разрезы вдоль реки с нанесением грунтов, залегающих в русле и основании мостовых опор; расчетные данные по показателям свойств грунтов, слагающих основание

мостовых опор и береговых устоев; данные, характеризующие строение и устойчивость речных склонов в местах примыкания к ним береговых устоев моста; данные, характеризующие гидрогеологический режим реки и эрозионные процессы.

15.6. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Инженерно-геологические изыскания для обоснования проектов подземных сооружений осуществляют в районе предполагаемого их заложения или по трассам, если сооружения носят линейный характер — гидротехнические, горные, железнодорожные, автодорожные туннели и метрополитены и комплексы других подземных сооружений различного назначения. Изыскания ведут с целью изучения геологического разреза в местах заложения подземных сооружений, свойств и состояния горных пород на глубину влияния подземных выломок, или, другими словами, на глубину активной зоны, создаваемой сооружением.

Виды, объемы и направленность (содержание) инженерно-геологических изысканий зависят, как обычно, от стадии проектирования, степени сложности природной обстановки — геологических, топографических и климатических условий, а также от назначения, размеров и конструктивных особенностей подземных сооружений.

В геологическом отношении изучаемые площади и линейные трассы должны быть рассмотрены с точки зрения структурных особенностей горных массивов, а именно: условий залегания пород, их нарушений, степени расчлененности, однородности состава и выдержанности по простираанию.

Характеристика структуры массивов пород (слоистых, массивных) должна сопровождаться данными о степени сохранности пород — выветрелости, трещиноватости, характере межслоевых контактов и инъекционных контактов.

Выявляются зоны тектонических разломов, а также зоны эрозионных врезов. При изучении этих зон должны быть установлены их границы, характер и интенсивность их развития и влияние различных природных факторов на условия строительства.

Проектирование подземных сооружений требует исследования следующих явлений: естественных колебаний уровня подземных вод, а также колебаний, обусловленных подпором их в связи с созданием водохранилищ или искусственных водоемов, в связи с утечкой воды из водопроводящих магистралей, орошением, сбросом сточных вод и пр.; величины понижения уровня подземных вод, обусловленного водозабором для целей водоснабжения и обводнения; изменения термического режима подземных вод; изменения напряженного состояния горных пород, обусловленного действием тектонических и гравитационных сил, проявившихся в прошлом и сохранившихся в настоящее время; характера и форм деформаций массивов горных пород как следствия тектонических

подвижек — пликативных и дизъюнктивных; величины сдвига по тектоническим разломам.

Все эти исследования необходимы проектировщику для того, чтобы иметь возможность оценить значение факторов, определяющих в том или ином отношении работы подземного сооружения. К таким факторам относятся различные природные явления, например: приток воды и затопление подземных сооружений, влекущие за собой взвешивающее противодавление, набухание, просадки, выщелачивание и снижение прочности пород.

В проекте учитываются также процессы засоления, вторичного засоления, кольтматации, возможного образования карста при эксплуатации сооружения, а также морозное пучение, образование гидролаколлитов, термокарста, наледей, термопросадок, солифлюкций.

Особо важное значение для проектирования подземных сооружений приобретает изучение релаксации естественно напряженных пород вследствие их разгрузки при производстве подземных выломов, сопровождающейся горными взрывами, явлений горного давления и возможности поступления в подземные выломки воды и газов.

Инженерно-геологические изыскания для проектирования подземных сооружений делятся на два этапа: предпроектного и конкретного проектирования. К предпроектному относится технико-экономическое обоснование (ТЭО) проекта.

I. Предпроектная стадия изысканий включает поиск перспективных вариантов размещения подземных сооружений. На этом этапе изыскания проводят на больших площадях, охватывающих территории крупных гидроузлов и промышленных комплексов, городов, местоположения трасс линейных подземных сооружений — туннелей, метрополитенов и др. Инженерно-геологическую съемку на этом этапе производства изыскательских работ проводят в масштабе $1 : 25\,000 \dots 1 : 50\,000$ и мельче. Задачей съемки является освещение природных условий соответственно указанным масштабам.

Инженерно-геологическая съемка сопровождается геофизическими исследованиями, причем методы последних (сейсмические, электрические, гравиметрические и др.) устанавливаются в зависимости от характера геологического строения места и рельефа.

Буровые работы на предварительном этапе проводят, как и для всех других сооружений, в малых объемах, однако на участках, где по данным съемки могут быть встречены зоны, грозящие опасностью для сооружения (провалы, сдвижение пород, сильная тектоническая раздробленность, затопление подземными водами и пр.), они являются обязательными, причем в объеме, необходимом для полного выяснения степени опасности по данным выполненной на рассматриваемом этапе инженерно-геологической съемки. Вся заснятая площадь может быть районирована по степени сложности геологических условий, что очень важно в практическом отношении.

Шкала геологической сложности может быть представлена следующим образом.

1. Районы или участки, характеризующиеся простыми инженерно-геологическими условиями. В пределах районов этой категории при строительстве наземных и подземных сооружений специальных инженерных мероприятий, обеспечивающих надежность и долговечность сооружений и сохранность геологической среды, или не требуется, или они не являются существенными и не удорожают строительство.

2. Районы или участки, характеризующиеся осложненными по сравнению с предыдущими условиями. В пределах этих районов при строительстве наземных и подземных сооружений необходимо осуществление некоторых инженерных мероприятий, обеспечивающих нормальную работу сооружения. Типы сооружений и их конструктивные особенности должны быть приняты и запроектированы таким образом, чтобы быть вписанными в природную обстановку и не вызывать неблагоприятных изменений геологической среды и развития этих изменений.

3. Районы или участки, характеризующиеся сложными инженерно-геологическими условиями. В пределах этих районов при строительстве наземных и подземных сооружений необходимо осуществление большого комплекса инженерных мероприятий. Типы и конструкции сооружений должны быть вписаны в условия природной обстановки. В проекте сооружений разрабатывают мероприятия по рациональному использованию геологической среды.

4. Районы или участки, характеризующиеся весьма сложными инженерно-геологическими условиями. В пределах этих районов при строительстве наземных и подземных сооружений требуются такие инженерные мероприятия, которые по своему объему и трудоемкости значительно удорожают сооружения и требуют весьма осторожного подхода к их возведению. В этих условиях остро стоит проблема изменения геологической среды и чрезвычайно затруднены мероприятия по рациональному ее использованию.

На предварительном этапе проектирования всегда сохраняется принцип освещения геологии района на основе ее изучения и систематизации собранного материала — фондового, опубликованного и архивного.

На предварительном этапе выбирают наиболее благоприятное место для подземного сооружения, намечают другие перспективные варианты их размещения и, наконец, с учетом общей композиции в комплексе сооружений и народнохозяйственных интересов намечают первоочередной участок или трассу расположения подземного сооружения.

II. На стадии проектирования инженерно-геологические изыскания проводят в полном объеме, начиная с инженерно-геологической съемки и до опытных полевых работ включительно. Съемку выполняют для проекта в крупном масштабе: от 1 : 10 000 до 1 : 1000. На основе съемочных работ составляются: а) геологические карты и разрезы по участкам или трассам подземных соору-

жений (см. рис. 13.7); б) карты-срезы на глубине заложения подземных сооружений.

Геологические разрезы должны показывать все структурные (тектонические) особенности места расположения сооружений, геотермические характеристики, наблюдавшиеся и прогнозируемые выходы (терминальных вод и газов). Карты-срезы должны характеризовать состав, условия залегания и состояние пород в плоскости намечаемого заложения подземных сооружений.

Наряду с детальной геологической съемкой проводят геофизические исследования и буровые работы. Геофизические исследования выполняют методами каротажа: электрического, термического, магнитного, радиоактивного (гамма, гамма-нейтрон, гамма-гамма и пр.), акустического и др. Кроме того, используют методы радиопросвечивания, геоакустику (интроскопию, звуковую и ультразвуковую локацию пустот), а также состояния и свойств пород. Геофизические методы разведки при проектировании подземных сооружений позволяют охарактеризовать условия залегания, распространения, состава, а также свойств и состояния пород в горизонтальном и вертикальном направлениях. Они позволяют выявить важные для проектирования явления: распространение карста, древних погребений речных долин, напряженного состояния горных пород в массиве и др.

Возможности применения геофизических методов разведки в процессе изысканий зависят от рельефа, в населенных пунктах от застроенности участков проведения исследований и др.

Буровые работы проводят различными методами, зависящими от состава пород, их водоносности и прочностных свойств.

При бурении скважин для гидрогеологических исследований требуется, например, в большинстве случаев вести проходку без промывки. Особо тщательно должны вестись наблюдения, характеризующие взаимосвязь поверхностных и подземных вод. Для этого проводят режимные наблюдения, охватывающие длительные промежутки времени (не менее года), устанавливающие естественные изменения уровня подземных вод, их температуры, химического состава и минерализации.

Большое место в изыскательских работах для проекта отводится гидрогеологическим исследованиям и изучению физико-механических свойств горных пород. Гидрогеологические исследования при проектировании подземных сооружений проводят в целях изучения возможного притока воды в подземную выломку при производстве строительных работ, а также в целях проектирования дренажных устройств, необходимых для отвода подземных вод при эксплуатации сооружения. Приток воды в подземные выломки действует, кроме того, как фактор, снижающий прочность пород.

Физико-механические свойства горных пород при проектировании подземных сооружений определяют лабораторными и полевыми методами. Среди последних важное место занимают сейсмоакустические методы, а также исследования упругого отпора,

прессиометрические, тензометрические наблюдения, а также динамическое и статическое зондирование.

III. На стадии составления рабочей документации подземного сооружения изыскательские работы состоят в основном в уточнении данных, полученных для проекта, и заключаются в производстве сдвиговых испытаний целиков пород, а также в моделировании (лабораторном, натурном или математическом) структурных особенностей подземного пространства, для решения теоретических, расчетных и прогнозных изменений в массиве пород благодаря изменению их напряженного состояния. На заключительном этапе изысканий оформляют исполнительную инженерно-геологическую документацию. В документации должны быть отмечены данные наблюдений, относящиеся к описанию пород и их трещиноватости в забое, своде и стенах подземных выломок, отмечаются также прочностные и деформационные свойства пород, проявления горного давления, выходы воды и газов и др. В документации отмечают также способ проходки, состояние временной крепи, пучение глинистых пород и карст в растворимых породах.

Инженерно-геологические изыскания для проектирования и строительства таких подземных сооружений, как метрополитены, а также туннели большого диаметра для железных дорог и автодорог, имеют свои отличительные особенности. При производстве инженерно-геологической съемки, являющейся основным видом изысканий для изучения условий строительства крупных подземных сооружений, особое внимание уделяется описанию рельефа местности и в максимальной мере используется дешифрирование аэрофотоматериалов. Съемку должны выполнять на топографической основе того же масштаба, в каком ведется и сама съемка.

Буровые скважины по трассам метрополитенов и большого сечения туннелей закладываются по намеченным трассам их расположения на расстояниях: для метрополитенов мелкого заложения на 1 км трассы в простых геологических условиях 5...7 и в сложных 8...10 скважин; для метрополитенов глубокого заложения на 1 км трассы в простых условиях 3...4 и в сложных 6...7 скважин. В горных условиях трассы туннелей изучают посредством буровых скважин, закладываемых в доступных местах, поэтому о частоте расположения скважин в данном случае можно говорить лишь весьма ориентировочно: по трассам туннелей мелкого заложения в простых геологических условиях 2...3 и в сложных 4...5 скважин; по трассам глубокого заложения в сложных геологических условиях 4...5 скважин, закладываемых по глубоким эрозивным ущельям. В высокогорных областях туннели прокладывают часто на глубинах, не доступных для изыскательских скважин (1000...7500 м от сводовой поверхности хребта), поэтому в таких условиях бурение, как метод разведки, исключается.

В горных условиях используют следующие геофизические методы исследований: метод ВЭЗ (вертикальное электрическое зондирование) с расстоянием между точками ВЭЗ 50...100 м; метод электропрофилирования с расстоянием между точками 25...50 м

и профилями 250...500 м; метод сейсмических зондирований с получением годографов длиной 100...150 м при расположении сейсмоприемников через 2...5 м друг от друга.

В отдельных скважинах (если они заложены) производят электрический, сейсмический и ультразвуковой каротаж.

На стадии составления рабочей документации инженерно-геологические изыскания проводят для уточнения данных, полученных в стадии разработки проекта, и для изучения всех тех вопросов, которые остались неразрешенными, неясными или вновь возникли в связи с выявленными при изысканиях для проекта новыми физическими данными.

Инженерно-геологические изыскания на стадии рабочей документации состоят в основном в исследовании напряженного состояния пород в зонах намеченного расположения подземных сооружений, установления условий залегания пород (простираения и падения), описания тектонических разрывов, их положения в пространстве, размеров и изучения состава и свойств заполнителя трещин, борозд и штрихов скольжения на стенках трещин.

Глава 16

ЗАВЕРШАЮЩИЙ ЭТАП ИЗЫСКАНИЙ И РЕЖИМНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

16.1. КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ИЗЫСКАНИЙ

Камеральные работы являются завершающим этапом изысканий. От качества и глубины проработки полевого изыскательского материала зависит большая или меньшая степень обоснованности принятых в проекте решений. Поэтому камеральные работы являются важным элементом инженерно-геологических изысканий. На них затрачивается немало времени, причем не только в связи с большим объемом чисто технической работы — составлением карт, разрезов, графиков, схем и т. д., но и, главным образом, в связи с составлением отчета об изысканиях. Ошибка в отчете, неправильная интерпретация условий геологического строения и механизма геологической структуры могут в лучшем случае удорожить стоимость сооружения, но могут привести к его аварии.

В связи с региональной экологической разработкой территориальных комплексных схем охраны природы камеральные работы по материалам, полученным на предварительных этапах изысканий (внестадийных) к проектам водоснабжения, по существу своему сводятся к анализу инженерно-геологических и гидрогеологических условий изучавшейся территории. На основе анализа дают рекомендации о наиболее перспективных участках строительства водозаборов, их положения среди пунктов загрязнения и прогноз изменения естественных вод в аспекте охраны природы.

Отчет о предпроектных изысканиях является исключительно ответственным документом. Помимо того, что в нем необходимо

определить все параметры для конкретного проектирования водозаборных сооружений и наметить типы этих сооружений, надо вместе с тем обосновать и требования к рациональному использованию подземных вод с учетом возможного истощения их запасов и связанных с этим последствий.

В отчете об изысканиях к проекту водоснабжения должны быть освещены следующие вопросы, касающиеся уже специальный характер: характеристики геологического строения и гидрогеологических условий района, сопровождаемые картами и геолого-гидрогеологическими профилями; описания методики производства гидрогеологических разведочных и опытных работ; характеристики режима подземных вод — естественных колебаний уровня, температуры и химического (а также химико-бактериального) состава; подсчета эксплуатационных запасов подземных вод; эффективности работы водозаборных скважин.

Как видно, в камеральные работы по изысканиям для водоснабжения входят специфические задачи, относящиеся к более всестороннему и специальному кругу вопросов, главным образом гидрогеологических.

Так же как и при изысканиях для любого вида строительства, приходится, например, вести поиски и разведку минеральных строительных материалов, определять их квалификацию и запасы, так как проекты водоснабжения всегда связаны с новым строительством городского, промышленного, гражданского или иного вида или же с расширением и перестройкой существующего строительства.

Инженерно-геологические обоснования проекта на стадиях его разработки и при составлении рабочих чертежей непосредственно связаны с местом расположения сооружений и базируются на большом разведочном, опытном и лабораторном материале. Поэтому решению вопросов на указанных стадиях проектирования помогают и всесторонняя освещенность геологической обстановки, и конкретность самой задачи.

Таким образом, отчеты об инженерно-геологических изысканиях на предпроектных этапах лежат в основе реализации проектного замысла и, следовательно, всех последующих изыскательских и проектных работ; в этих отчетах дается не только геологическая характеристика изучаемой территории, но и рациональное ее использование в условиях взаимодействия с сооружением.

При составлении программы на производство инженерно-геологических изысканий соответственно сказанному выше следует обосновать объем, содержание и состав, задачи и план камеральных работ. Следует учесть необходимость сбора, систематизации и изучения фондового и литературного материала, в особенности на предпроектном этапе изысканий, графической обработки полевых данных, производства расчетов (коэффициентов фильтрации, удельных водопоглощений, расчетных показателей грунтов и т. д.). Составление отчета и обработка полевого материала требуют почти половину того времени, которое затрачивается на производство

полевых работ и поэтому должно быть учтено в смете расходов.

При составлении отчета об изысканиях особое место отводится описанию методики производства отдельных видов работ. Для этого уже в процессе выполнения полевых работ возникает необходимость в их документации и камеральной обработке. Только в этом случае можно достигнуть целесообразного и методически однозначного решения поставленной задачи.

Камеральные работы, выполняемые после окончания изысканий, являются важным разрезом проекта, так как являются обоснованием на всех стадиях проектирования. В процессе камеральных работ на основе опытных гидрогеологических исследований должны быть даны расчеты по притоку воды в строительные котлованы и рекомендации по условиям вскрытия котлованов. На основе данных разведки строительных материалов должны быть подсчитаны запасы и определена квалификация материалов, намеченных к использованию в строительстве, а также даны рекомендации об условиях разработки месторождений, организации производства разработок и транспортировки строительных материалов.

На стадиях изысканий для проекта и рабочей документации в начатых разработкой подземных выработках выполняют исследования упругого отпора, причем места исследований выбираются с расчетом получения данных для пород в зонах тектонических нарушений и распространения очагов выветрелых пород, а также на участках, где породы относительно сохранили изначальное напряженное состояние. Все эти данные необходимы для выбора способов проходки туннелей и конструкции обделок, торкретирования, цементации.

На этой же стадии проектирования проводят гидрогеологические исследования, что необходимо для принятия решений о надлежащей конструкции дренажных устройств.

На стадии составления рабочей документации для подземного сооружения особое внимание обращается на изучение с точки зрения устойчивости порталных и начальных участков туннелей, в особенности туннелей больших сечений.

16.2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СТАТИЧЕСКИЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА РАБОТОЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В СТРОИТЕЛЬНЫЙ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ПЕРИОДЫ

В процессе строительства, когда инженерно-геологические изыскания проведены и по ним составлен отчет, включающий все материалы по обоснованию проекта зданий и сооружений, возникает еще много вопросов, на которые нельзя было ответить без производства длительных (стационарных) наблюдений и которые нельзя было, следовательно, рассмотреть в процессе проектирования. К таким вопросам относятся: установление величин осадки зданий и сооружений, вызванной их нагрузкой на грунт в условиях измененного гидродинамического режима подземных вод (обводнение, увеличение влажности, колебания уровня воды и др.); установле-

ние устойчивости искусственных откосов и естественных склонов, интенсивности эрозии, количественных показателей развития просадочности грунтов в основании зданий и сооружений (в частности каналов и напорных бассейнов) и распространения процессов просадочности в горизонтальном и вертикальном направлениях от центров зданий и сооружений; определение скорости движения осыпей, курумов, снежных накоплений (образующих периодически возникающие лавины), завалов и селевых выносов, а также скорости смещения солифлюкционных земляных масс; установление показателей величины современных тектонических движений, в особенности в основании сооружений, чувствительных к таким движениям; определение скорости процесса растворения соли (каменной соли, гипса) в основании плотин, происходящего вследствие фильтрации воды из верхнего бьефа в нижний (в конкретных гидравлических условиях работы сооружения), скорости и размеров зоны переработки берегов водохранилищ и крупных каналов; установление величины раздвижения береговых склонов речной долины после создания водохранилища.

В различных природных обстановках и соответственно конкретным условиям работы зданий и сооружений названные и другие подобные им процессы и явления, по которым нельзя было получить обстоятельных разъяснений при производстве инженерно-геологических изысканий, могут иметь весьма важное значение как в работе самих зданий и сооружений, так и в вызванных ими изменениях геологической среды. Эти изменения с рассматриваемой точки зрения носят негативный характер, поэтому инженерно-геологические наблюдения в процессе строительства и в послепостроечный период должны проводиться с особым вниманием и рассматриваться в качестве обязательного элемента строительства и работы построенного сооружения.

По результатам наблюдений выполняют профилактические мероприятия, обеспечивающие временное прекращение, затухание развития явления, грозящего опасностью, и конструктивные мероприятия, ликвидирующие причины возникновения явлений. Профилактические мероприятия основываются на выявленном в результате наблюдений механизме развития явления, отражающего его динамику, что позволяет предупредить посредством определенных строительно-технических средств нежелательные последствия. Для этого в местах распространения тех или иных явлений устанавливаются охранные зоны и соответственно характеру геологического явления регламентируются ограничительные правила пользования территорией зоны, например устанавливаются нормы вырубки лесных массивов, регулирование поверхностного стока, распашки земель, сбросов поверхностных и промышленных вод, устройства котлованов, карьеров и выемок (в особенности в мерзлых грунтах) и т. п.

Профилактика, как результат натурных наблюдений, является, таким образом, мероприятием, предупреждающим возникновение и развитие неблагоприятных геологических явлений. Они сопро-

вождаются разного рода пробными строительно-техническими мероприятиями (например, опробование таких средств, как дренаж).

Конструктивные мероприятия основываются на данных наблюдений и на мероприятиях, выполненных в профилактических целях. Конструктивно они могут представлять собой разнообразные подземные и наземные сооружения (шахты, туннели, штольни и др.), а также весьма сложные по своему характеру сооружения типа подпорных стенок, анкеровки, цементации искусственного уплотнения (например, лёссовых пород), обжига, замораживания грунтов и др. Наблюдения как в профилактических, так и в конструктивных целях выполняют различными средствами наблюдений. Так, для наблюдений за осадками плотин производят стационарное прецизионное нивелирование, т. е. используют геодезические методы, а, кроме того, на плотине устанавливают специальные приборы, отмечающие величину осадки. На участках, вызывающих сомнения в их устойчивости, закладывают репера, а затем фото-теодолитной съемкой устанавливают их смещение в горизонтальном и вертикальном направлениях.

При проектировании ирригационных систем для изучения режима грунтовых вод (естественных колебаний зеркала воды, химического и минералогического состава и температуры) закладывают режимные скважины, оборудованные фильтрами, и наблюдения ведут в течение одного года минимум. По данным наблюдений для каждого сезона составляют карты гидроизогипс и карты глубины залегания грунтовых вод. На эти карты накладывают карты минерализации и химического состава грунтовых вод. Таким образом, режимные наблюдения отражают путем сопоставления сезонных карт общую гидравлическую и солевую динамику грунтовых вод в течение гидрологического года. Соответственно гидродинамическим характеристикам изучаемой территории на отдельных ее участках проводят наблюдения над изменениями влажности грунтов в зоне аэрации и колебаниями максимальной границы капиллярного поднятия.

При наблюдениях над современными тектоническими движениями пользуются марками, рейками, прецизионной нивелировкой и специальными приборами — наклонометрами, регистрирующими малые по величине (измеряемые миллиметрами) смещения блоков горного массива вдоль тектонических разрывов. При исследовании современных движений немалый интерес представляет характер естественных напряжений в горных породах. Естественные напряжения в массивах горных пород исследуются сейсмоакустическими методами и методом разгрузки.

Сейсмические явления регистрируются на специальных сеймостанциях и поэтому наблюдения над ними не входят в состав работ инженерно-геологической службы. Данные о сейсмичности проектно-изыскательские организации и эксплуатационные предприятия получают от сеймостанций в готовом, обработанном, виде, хотя часто эти данные оторваны от структурно-геологических особенностей участков строительства и поэтому не отвечают на

столь важные вопросы о реакции сейсмических воздействий на раз-
личный механизм геологических структур. Данные всех наблюде-
ний в послепостроечный период накапливаются, систематизируют-
ся и подвергаются тщательному анализу, на основе которого служ-
бы эксплуатации осуществляют соответствующие защитные строи-
тельные мероприятия.

Следует заметить, что наблюдения входят в задачи эксплуата-
ции и предусматриваются ежегодными планами работ данного
предприятия. Таким образом, инженерно-геологические исследова-
ния не заканчиваются в процессе составления проекта, а продол-
жаются в период строительства и эксплуатации зданий и сооруже-
ний. Эти исследования сводятся к наблюдениям над теми процес-
сами и явлениями, которые возникают вследствие воздействия зда-
ний и сооружений на геологическую среду и ставят своей задачей
определить те мероприятия, которые необходимы для предупреж-
дения ее нежелательных изменений, способных вызвать аварии и
катастрофы и, больше того, ухудшить условия жизнеобитания че-
ловека. Программа наблюдений над возникающими под влиянием
зданий и сооружений геологическими процессами и явлениями
составляется организацией, проводившей изыскания в период
строительства, когда общая картина геологической обстановки на
участке или трассе зданий и сооружений становится понятной и
когда можно с большей или меньшей степенью вероятности наме-
тить участки возможного проявления процессов и явлений, их ха-
рактера (или вида) и факторов развития. Очевидно, что предусмот-
реть возможность возникновения под воздействием зданий и
сооружений всех проявлений в изменении геологической среды в
период строительства еще не представляется возможным, так как
во всех случаях процессы, обуславливающие явления, протекают
медленно. Например, просадочность некоторых лёссовидных суг-
линков проявляется лишь спустя месяцы после замачивания (на-
порный бассейн Фархадской ГЭС), осадки плотины на глинистом
и глинисто-щебенистом основании происходят в течение нескольких
лет и начинаются не сразу, а спустя много времени после воздей-
ствия сооружения (Даховская плотина, плотина Гаррисон на
р. Миссури, США) и т. п.

В период эксплуатации зданий и сооружений программа на-
блюдений корректируется по мере установления вновь обнаружи-
ваемых проявлений в изменении условий геологической среды,
выраженных в нарушении равновесия земляных масс, подтоплении
(заболачивании) территории, осушении водоносных горизонтов,
образовании провалов, засолении почв и т. д.

Таким образом, наблюдения в послепостроечный период пред-
ставляют особый вид исследований, которые можно рассматривать
в качестве дополнительных к приведенным ранее инженерно-геоло-
гическим изысканиям.

Послепостроечные наблюдения служат для предупреждения
развития опасных процессов и явлений, локально проявляющихся
под воздействием зданий и сооружений, но они не снимают ответ-

ственности за выводы и заключения о технической возможности и экономической целесообразности строительства и надлежащем использовании геологической среды, которые даются на основе результатов инженерно-геологических изысканий в предпроектном этапе их производства.

На предпроектном этапе изысканий ставится диагноз; на изысканиях для конкретного проектирования (проект и рабочие чертежи) дается прогноз всевозможных изменений геологической среды под влиянием или воздействием зданий и сооружений; в послепопостроечный период проводятся наблюдения над рецидивами нежелательных явлений, возникающих вследствие или ненормальных условий эксплуатации зданий и сооружений или же вследствие естественного развития геологических процессов и явлений, возбужденных факторами новых геологогидродинамических условий, не свойственных данной геологической среде до воздействия на нее зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

- Ажгирей Г. Д. Структурная геология, 1967.
- Альтшулер Л. В., Кормер С. Б. О внутреннем строении Земли. Изд-во АН СССР, серия геофизическая, № 1, 1961.
- Ананьев В. П., Передельский Л. В. Инженерная геология и гидрогеология. М., 1980.
- Апродов В. А. Неотектоника, вулканические провинции и великие сейсмические пояса мира. М., 1965.
- Белоусов В. В. Структурная геология. М., 1961.
- Белоусов В. В. Основные вопросы геотектоники. М., 1962.
- Белоусов В. В. Земная кора и верхняя мантия материков. М., 1968.
- Белый Л. Д., Попов В. В. Инженерная геология. М., 1975.
- Белый Л. Д. О новых генетических типах континентальных отложений, связанных с деятельностью человека. — Инженерная геология, № 3.
- Вернадский В. И. Несколько слов о ноосфере. Успехи современной биологии, т. 18, вып. 2, М., 1944.
- Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. М., 1965.
- Денисов Н. Я. Инженерная геология. М., 1960.
- Емельянова Е. П. Основные закономерности оползневых процессов. М., 1972.
- Котлов Ф. В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М., 1978.
- Ломтадзе В. Д. Инженерная петрология. Л., 1970.
- Ломтадзе В. Д. Инженерная геодинамика. Л., 1977.
- Ломтадзе В. Д. Специальная инженерная геология. Л., 1978.
- Михайлов А. Е. Основы структурной геологии и геологического картирования. М., 1967.
- Пешковский А. М., Перескокова Т. М. Инженерная геология. М., 1971.
- Сергеев Е. М. Инженерная геология. М., 1978.
- Страхов Н. М. Основные теории литогенеза. М., 1960.
- Страхов Н. М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М., 1963.
- Терцаги К. Теория механики грунтов. М., 1961.
- Хаин В. Е. Общая геотектоника. М., 1964.
- Херасков Н. П. Тектоника и формации. М., 1967.
- Шанцер С. В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. М., 1969.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	<i>Стр.</i>
Предисловие	3
Введение	4
Глава 1. Вещество, строение и физические свойства Земли	6
1.1. Сведения о минералах и горных породах	6
1.2. Геосферы и их характеристика	19
1.3. Гравитационная и тепловая характеристики Земли	21
1.4. Магнетизм	22
Глава 2. Происхождение Земли, история ее развития. Фации и формации в процессах осадкообразования	24
2.1. Гипотеза происхождения Земли	24
2.2. История развития Земли	26
2.3. Периодичность осадкообразования и формирования магматических пород	27
2.4. Фации и формации	28
Глава 3. Глубинные структуры земной коры	36
3.1. Структурные формы горных пород	36
3.2. Общие положения о методах изучения природы тектонических форм, разрывов, трещиноватости и их практическое значение	40
3.3. Анализ тектонических структур и разрывов	41
3.4. Следы механического воздействия на породы в процессе структурообразования	44
3.5. Характеристика деформаций горных пород	45
Глава 4. Основы гидрогеологии	46
4.1. Происхождение и формирование подземных вод	46
4.2. Режим и состав подземных вод	53
4.3. Гидрогеологические карты	58
4.4. Закон движения подземных вод	61
4.5. Движение подземных вод в однородных и неоднородных пластах	66
4.6. Понижение и повышение уровня подземных вод	68
Глава 5. Физико-механические свойства грунтов	71
5.1. Физико-механические свойства дисперсных грунтов	71
5.2. Физико-механические свойства скальных грунтов	81
Глава 6. Физико-химические процессы и явления	85
6.1. Выветривание	85
6.2. Карст	87
6.3. Просадочность	90
Глава 7. Биохимические процессы и явления	93
7.1. Почвы и торфяники	93
7.2. Биохимические плавунуны	94

Глава 8. Гравитационные процессы и явления	95
8.1. Оползни	95
8.2. Обвалы	109
8.3. Осыпи и осы	110
8.4. Оплытины и лавины	111
8.5. Горное давление	113
8.6. Сдвиг	117
Глава 9. Гидродинамические процессы и явления	118
9.1. Фильтрация	118
9.2. Механическая суффозия	119
9.3. Плывуны	120
9.4. Эрозия	122
9.5. Сели	125
9.6. Переработка берегов водохранилищ. Морская абразия	127
Глава 10. Аэродинамические процессы и явления	135
10.1. Ветровое разрушение	135
10.2. Барханы и дюны	136
10.3. Каменистые пустыни	137
10.4. Коррозия	138
Глава 11. Теплофизические процессы и явления	139
11.1. Мерзлотные процессы и явления	139
11.2. Многолетняя мерзлота	140
11.3. Бугры пучения	142
11.4. Термокарстовые проседания и провалы	143
11.5. Наледи	144
11.6. Солифлюкционные смещения и пучины	144
11.7. Промерзание и оттаивание	145
Глава 12. Сейсмичность	148
12.1. Естественные землетрясения	148
12.2. Возбужденные землетрясения, возникающие вследствие деятельности человека	150
Глава 13. Основы геологического и инженерно-геологического картирования	153
13.1. Краткие указания о методах производства геологической съемки	153
13.2. Основы геологического картирования	157
13.3. Принципы и методы инженерно-геологического картирования	165
13.4. Структурно-вещественный (формационный) принцип построения инженерно-геологических карт	166
13.5. Основные положения формационного учения для инженерно-геологического картирования	171
Глава 14. Состав и объем инженерно-геологических изысканий	177
14.1. Общие положения	177
14.2. Анализ природных условий и инженерно-геологическая рекогносцировка	180
14.3. Инженерно-геологическая съемка	181
14.4. Геофизические методы исследований	183
14.5. Разведка бурением	186
14.6. Горные выработки	192
14.7. Опытные гидрогеологические исследования	195
14.8. Лабораторные исследования	196
Глава 15. Особенности инженерно-геологических изысканий для различных видов строительства	198

15.1. Инженерно-геологические изыскания при проектировании гидротехнических сооружений	198
15.2. Инженерно-геологические изыскания при проектировании городов и поселков	200
15.3. Инженерно-геологические изыскания при проектировании гражданских и промышленных зданий и сооружений	202
15.4. Инженерно-геологические изыскания при разработке проектов водоснабжения	204
15.5. Инженерно-геологические изыскания при проектировании железных и автомобильных дорог и мостовых переходов	211
15.6. Инженерно-геологические изыскания при проектировании подземных сооружений	216
Глава 16. Завершающий этап изысканий и режимные наблюдения . . .	221
16.1. Камеральная обработка материалов изысканий	221
16.2. Специальные статические и гидравлические наблюдения за работой зданий и сооружений в строительный и эксплуатационный периоды	223
Литература	228

Леонид Дмитриевич Белый

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Зав. редакцией Б. А. Ягулов. Редактор Т. Ф. Мельникова. Мл. редактор Ю. П. Кочергина. Переплет художника Б. А. Школьника. Художественный редактор В. П. Бабилова. Технический редактор З. В. Нуждина. Корректор Р. К. Косинова

ИБ № 4805

Изд. № Стр—428. Сдано в набор 17.12.84. Подп. в печать 14.02.85. Т-03079. Формат 60×90^{1/16}. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 14,5 усл. печ. л. 14,5 усл. кр.-отт. 16,36 уч.-изд. л. Тираж 21 000 экз. Зак. № 1124. Цена 85 коп.

Издательство «Высшая школа», 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 101898, Москва, Центр, Хохловский пер., 7.