

высшее

образование

Л.В. Передельский,
О.Е. Приходченко

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ



Серия «Высшее образование»

Л.В. Передельский, О.Е. Приходченко

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
для студентов строительных специальностей вузов

*Издание второе,
дополненное и переработанное*

РОСТОВ-НА-ДОНУ
ФЕНИКС
2009

у-
Ю
я
ов
у-
ий
н-
ов
В.
В.
ое
ге-
ия
ий
ы
ое
ю,
ес-
я с
ее
ан
на-
ния
ло-
кой
цей

УДК 624.1(075.8)

ББК 26.3я73

КТК 163

П 27

Рецензенты:

кафедра инженерной геологии и гидрогеологии Ростовского государственного университета (зав. кафедрой доктор геолого-минералогических наук, профессор *Коробкин Владимир Иванович*);

доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. кафедрой «Городское строительство и экспертиза недвижимости» Северо-Кавказского государственного технического университета
Галай Борис Федорович

Передельский Л.В.

П 27 Инженерная геология : учебник для студентов строительных специальностей вузов / Л.В. Передельский, О.Е. Приходченко. — Изд. 2-е, доп. и перераб. — Ростов н/Д : Феникс, 2009. — 465 с. : ил. — (Высшее образование).

ISBN 978-5-222-16160-9

Учебное пособие написано в соответствии с требованиями действующего Государственного образовательного стандарта и программы, рекомендованной Министерством образования России по направлению «Строительство». В книге даны современные представления о происхождении и строении Земли, минералогии и петрографии, геологической хронологии, тектонике и геоморфологии. Основное внимание уделено гидрогеологии, грунтоведению, инженерной геодинамике, вопросам инженерно-геологических изысканий для различных видов строительства.

Предназначается в качестве учебного пособия для студентов строительных специальностей вузов. Может быть полезно для учащихся техникумов, колледжей, а также специалистов, работающих в области инженерной геологии и строительства.

УДК 624.1(075.8)

ББК 26.3я73

ISBN 978-5-222-16160-9

© Передельский Л.В., Приходченко О.Е., 2009

© Оформление, ООО «Феникс», 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие написано в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта для направления 550100 «Строительство» и примерной программы дисциплины «Инженерная геология», утвержденной Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по строительному образованию в 1997 г.

При работе над пособием авторы, профессора Ростовского государственного строительного университета, использовали многолетний опыт преподавания дисциплин «Инженерная геология», «Основы грунтоведения и механики грунтов», а также создания вузовских учебников по инженерной геологии и строительной экологии (В.П. Ананьев, Л.В. Передельский, 1980; В.И. Коробкин, Л.В. Передельский, 1993; Л.В. Передельский, О.Е. Приходченко, 2003).

Авторы стремились создать учебное пособие, достаточно полное по содержанию и вместе с тем компактное по объему, а также сочетать научный характер изложения с доступностью для его восприятия студентами младших курсов.

В учебном пособии с позиции современной науки и требований строительной практики рассмотрены основные вопросы и проблемы инженерной геологии. В соответствии с задачами курса основное внимание уделено общегеологическим вопросам, грунтоведению, инженерной геодинамике, а также методам инженерно-геологических изысканий для различных видов строительства. В сравнении с существующими учебниками по инженерной геологии введен более расширенный раздел по гидрогеологии. В этом разделе использован материал одного из авторов, опубликованный в учебнике В.П. Ананьева, Л.В. Передельского, 1980 г.

Учитывая специфику подготовки инженера-строителя и требования строительного производства, в самой компоновке материала и в изложении его сути авторы стремились оттенить своеобразие инженерной геологии как дисциплины геологического цикла, подготавливающей

студентов к изучению курсов «Механика грунтов», «Основания и фундаменты», «Технология строительного производства» и др.

Помимо студентов строительных специальностей вузов учебное пособие «Инженерная геология» может быть полезно при повышении квалификации и переподготовке строительных кадров (менеджеров, инженеров, проектировщиков, эксплуатационников и др.), а также использовано преподавателями строительных вузов и техникумов.

Авторы искренне благодарят рецензентов за ценные советы по улучшению содержания книги и устранению ее недостатков.

Авторы

Введение

§ 1. Инженерная геология как наука о рациональном использовании и охране геологической среды

Геология (от греч. «гео» — земля и «логос» — учение) — наука о Земле, ее происхождении, составе, строении и развитии. Как наука геология оформилась в XVIII в. и в настоящее время включает в себя такие научные дисциплины, как стратиграфия, геохронология, минералогия, петрография, кристаллография, динамическая геология и др., а также ряд отраслей, имеющих не только теоретическое значение, но и в значительной степени прикладной характер: инженерную геологию, гидрогеологию, мерзлотоведение и др.

Инженерная геология — «отрасль геологии, которая трактует вопросы приложения геологии к инженерному делу». Такое определение было дано одним из крупнейших ученых в области инженерной геологии академиком Ф. П. Саваренским в 1937 г. Основными задачами инженерной геологии он считал «изучение геологических процессов и физико-технических свойств горных пород, определяющих условия возведения сооружений и направлений инженерно-геологических мероприятий по обеспечению устойчивости земляных масс».

Развивая идеи Ф. П. Саваренского, профессор И. В. Попов (1951) определил инженерную геологию в теоретическом отношении как «отрасль геологии, изучающую динамику верхних горизонтов земной коры в связи с инженерной деятельностью человека».

В современных условиях в период все возрастающего антропогенного воздействия на природную среду и резкого обострения экологической ситуации инженерная геология, согласно определению академика



Ф. П. Саваренский
(1881—1946)



И. В. Попов
(1902–1978)

Е. М. Сергеева (1979), становится наукой о геологической среде, ее рациональном использовании и охране.

Под **геологической средой** понимается верхняя часть литосферы, в пределах которой осуществляется инженерно-хозяйственная деятельность человека. В состав геологической среды как многокомпонентной динамичной системы входят рельеф, горные породы, рассматриваемые как грунты, подземные воды, газы, микроорганизмы. Геологическая среда воспринимает основной объем техногенной нагрузки.

Понятие о геологической среде является развитием идей великого русского ученого В. И. Вернадского о ноосфере как многокомпонентной среде жизнедеятельности человека в верхней части литосферы, где инженерно-хозяйственная деятельность сопоставима с природными геологическими процессами.

Профессор В. Д. Ломтадзе (1984), определяя предмет инженерной геологии, ее содержание и положение в цикле геологических дисциплин, предложил рассматривать инженерную геологию как «науку о геологических условиях строительства и эксплуатации сооружений, рациональном использовании геологической среды и ее охране».

Инженерная геология включает в себя ряд разделов как теоретического, так и прикладного характера: 1) грунтоведение (изучает горные породы как грунты); 2) инженерную геодинамику (опасные природные геологические и инженерно-геологические процессы); 3) методику инженерно-геологических изысканий для строительства (получение инженерно-геологической информации, необходимой для строительного проектирования); 4) региональную инженерную геологию (формирование инженерно-геологических условий различных территорий).

В своем развитии инженерная геология использует достижения других геологических наук: гидрогеологии, мерзлотоведения, мине-

ралогии, петрографии и др. В инженерной геологии используются также методы математики, физики, химии и других наук. В свою очередь инженерная геология, возникнув на стыке с естественными и строительными науками, подготавливает студентов строительных вузов к прохождению таких дисциплин, как механика грунтов, основания и фундаменты, технология строительного производства и др.

Наиболее тесно с инженерной геологией связана гидрогеология. **Гидрогеология** — это наука о подземных водах. Она изучает их происхождение, химический состав, физические свойства, распространение и условия залегания, законы движения и режим, ресурсы и гидрогеологические особенности в связи со строительным освоением территории.

Важнейшим разделом гидрогеологии является динамика подземных вод, которая исследует закономерности их движения, разрабатывает методы расчета притока подземных вод к строительным котлованам, буровым скважинам, колодцам и др.

Гидрогеологические исследования являются необходимой составной частью инженерно-геологических изысканий для любых видов строительства.

Весьма значительна роль гидрогеологии при поисках и разведке подземных вод для целей водоснабжения, защите подземных вод от загрязнения и истощения, обосновании искусственного захоронения промышленных стоков в глубокие водоносные горизонты и т. д.

§ 2. Краткий очерк развития инженерной геологии в России

Становление инженерной геологии как науки, тесно связанной со строительной деятельностью, в нашей стране происходило в 20–30-е гг. XX столетия. До этого периода были созданы необходимые предпосылки для ее дальнейшего развития. Связаны



Е. М. Сергеев (1914–1997)

они с работой выдающихся ученых-геологов А. П. Карпинского (1847–1936), А. П. Павлова (1854–1929), И. В. Мушкетова (1850–1902), В. И. Вернадского (1863–1945), В. А. Обручева (1863–1956) и мн. др., принимавших активное участие в геологическом обосновании строительства железных дорог, тоннелей, плотин и других ответственных сооружений.

В развитии собственно инженерной геологии как науки можно выделить несколько этапов.

Первый этап (1920–1941 гг.) характеризуется бурным развитием инженерной геологии в связи с началом гидротехнического строительства и осуществлением грандиозного плана индустриализации страны. В этот период в стране возводятся такие уникальные сооружения, как гидроэлектростанции на Днепре, Волге, Амуре, судоходные каналы Москва—Волга и Беломорско-Балтийский, Московский метрополитен, Урало-Кузнецкий промышленный комплекс и многие другие крупнейшие сооружения.

Строительство этих и других весьма ответственных объектов потребовало высокого уровня развития инженерной геологии. В стране создаются первые специальные кафедры в вузах, возникают научно-производственные организации, планомерно проводятся инженерно-геологические исследования и изыскания.

Как самостоятельная наука инженерная геология окончательно утвердилась в начале 30-х гг. прошлого столетия. В этот период в инженерно-геологической науке оформляются основные ее разделы: грунтоведение и инженерная геодинамика. Большое значение для возникновения и развития инженерной геологии в этот период имели работы Г. Н. Каменского, Н. Ф. Погребова, П. А. Земятченского, М. М. Филатова, В. В. Охотина, М. П. Семенова, Н. Н. Маслова, В. А. Приклонского, И. В. Попова и др.

Основоположителем инженерной геологии в нашей стране является академик Ф. П. Саваренский (1881–1946), опубликовавший в 1937 г. фундаментальный учебник «Инженерная геология». Он же является создателем (в 1932 г.) одной из первых в мире кафедр инженерной геологии в Московском геологоразведочном институте).

Второй этап (1946–1978 гг.) связан с широким развитием инженерно-геологических исследований в различных областях, включая

многочисленные теоретические разработки от микромира грунтов до их массивов. Ведутся обширные инженерно-геологические работы на огромных площадях — в Западной и Восточной Сибири, Средней Азии и в других районах. Все это способствовало формированию такого самостоятельного раздела инженерно-геологической науки, как региональная инженерная геология.

На современном этапе развития, начиная с 80-х гг. прошлого столетия, перед инженерной геологией была поставлена новая задача. Развивая положение о всевозрастающей роли деятельности человека и сопоставимости ее масштабов с крупнейшими природными геологическими процессами, академик Е. М. Сергеев (1979) высказал положение о том, что «на современном этапе развития инженерная геология превращается в науку, изучающую ноосферу с задачей познания земной коры как среды обитания и деятельности человека».

Генеральная ассамблея Международной ассоциации инженерной геологии (Париж, 1980) по предложению академика Е. М. Сергеева единогласно приняла декларацию, в которой инженерная геология считается ответственной за разработку проблем, связанных с рациональным использованием и охраной геологической среды как одной из компонент окружающей среды.

Значительный вклад в становление инженерно-геологической науки на различных этапах ее развития, кроме названных выше ученых, внесли Е. М. Сергеев, Н. Я. Денисов, Н. В. Коломенский, Г. С. Золотарев, В. Д. Ломтадзе, Г. К. Бондарик, Ф. В. Котлов, С. Д. Воронкевич, В. Т. Трофимов, В. И. Осипов, В. П. Ананьев, А. К. Ларионов и др.

Дальнейшее развитие инженерной геологии видится на основе всестороннего изучения техногенно-измененной геологической среды (приповерхностной части литосферы) в теоретическом, экспериментальном и методическом отношении. Строительство и реконструкция зданий и сооружений в сложных природно-техногенных условиях (застроенные территории), быстрый рост подземного строительства, возведение во многих городах высотных зданий и т. д. — все это значительно расширяет круг вопросов, которыми должна заниматься инженерная геология в современный период.

§ 3. Значение инженерно-геологической информации для строителей

Строительство любых инженерных сооружений — промышленных и гражданских зданий, железных и автомобильных дорог, метрополитенов и плотин, мостов и аэродромов, подземных коммуникаций и других объектов — требует обязательного инженерно-геологического обоснования.

Для этого необходимо детальное и всестороннее изучение инженерно-геологических условий местности, т. е. ее рельефа, геологического строения и гидрогеологических условий, состава и свойств грунтов, опасных геологических процессов, влияющих на проектирование, строительство и эксплуатацию объектов.

Только с учетом полученной в процессе инженерно-геологических изысканий информации инженер-строитель (проектировщик) может обоснованно выбрать место строительства, тип основания и фундаментов, конструкцию, компоновку сооружений, а также разработать необходимые инженерные мероприятия как для защиты проектируемого объекта, так и для защиты природной среды в районе строительства.

Инженерная геология призвана обеспечивать необходимыми данными проектировщиков и строителей при возведении разнообразных сооружений в любой инженерно-геологической обстановке, включая весьма сложные и неблагоприятные природные условия.

Как справедливо отмечал академик Ф. П. Саваренский (1939), «для возведения инженерного сооружения опасны не столько неблагоприятные геологические условия, сколько недостаточное знание этих условий и неумение оценить их с точки зрения того или иного инженерного мероприятия».

Строительная практика показывает, что недоучет инженерно-геологических условий местности приводит к неоправданному удорожанию строительства, увеличению объемов работ и сроков их проведения, а нередко и к серьезным деформациям возводимых зданий и сооружений, вплоть до их разрушения.

Поэтому инженер-строитель должен знать, понимать и в полной мере учитывать инженерно-геологические данные как при проектировании, так и в процессе строительства, эксплуатации и реконструкции объекта.

После изучения теоретических основ дисциплины «Инженерная геология» студенты как будущие специалисты строительного профиля должны уметь:

- правильно читать и анализировать инженерно-геологические карты и разрезы, геолого-литологические колонки по скважинам, результаты определения физико-механических свойств грунтов по инженерно-геологическим элементам и другие материалы инженерно-геологических изысканий;
- принимать обоснованные проектные и иные решения на основе понимания специфики грунтов особого состояния и свойств (просадочных, многолетнемерзлых и др.), природы опасных геологических процессов (оползней, карста, абразии и др.), законов движения подземных вод к горным выработкам и строительным котлованам и др.;
- визуально определять наиболее распространенные горные породы (грунты) в строительных котлованах и карьерах;
- составлять техническое задание на производство инженерно-геологических изысканий и согласовывать с геологами-изыскателями программу на их проведение;
- профессионально воспринимать и правильно использовать в своей работе инженерно-геологическую информацию в существующих нормативных документах (СНиП, ГОСТ, СП и др.) и справочных руководствах.

ЭЛЕМЕНТЫ ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОМОРФОЛОГИИ

Главным объектом изучения геологии является земная кора — верхняя оболочка Земли. В сферу важнейших интересов геологии входит и литосфера, которая кроме земной коры охватывает часть верхней мантии.

Литосфера (земная кора) — это не только источник минерального сырья, но, прежде всего, сфера строительной деятельности человека. Именно на ее поверхности возводятся различного рода инженерные сооружения — промышленные и гражданские здания, транспортные магистрали, трубопроводы, плотины и т. д. Обеспечить их устойчивость и надежную эксплуатацию, а также предвидеть и в значительной мере предотвращать негативные последствия опасных для человека геологических процессов (оползни, обвалы, сели, карст и др.) невозможно без знания основных закономерностей строения и развития литосферы (земной коры).

Глава 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОИСХОЖДЕНИИ И СТРОЕНИИ ЗЕМЛИ. ГЕОСФЕРЫ

§ 1. Происхождение, форма и строение Земли

Происхождение Земли. Наука о происхождении космических тел и их систем (Солнечной, отдельных планет, звезд и т. д.) называется космогонией.

Согласно современным космогоническим представлениям, возникшим на основе гипотезы Канта—Лапласа и впоследствии развитым О. Ю. Шмидтом, Ф. Хойлом, Э. Шацманом и др., Земля образовалась около 4,7 млрд лет назад из рассеянного в протосолнечной системе относительного холодного газово-пылевого облака. Сгущение холодной космической пыли в результате процессов аккреции (слипания и дальнейшего роста) способствовало формированию плотных сгустков, которые превращались в планетезималии размером до 1 км. Дальнейшая аккреция роя планетезималей вокруг определенных центров, послуживших зародышем будущих планет, привела к образованию Солнечной системы и планеты Земля.

Как полагают многие ученые, начальное становление планеты Земля продолжалось в течение примерно 0,5 млрд лет, после чего образовались первые горные породы и началась геологическая история Земли.

Форма и строение Земли. Истинную, присущую только Земле форму отражает геоид. В отличие от сфероида эта форма учитывает реально существующие на Земле перепады высот от вершин гор до глубоких океанических впадин и является наиболее достоверной.

Средний радиус Земли — 6371 км (рис. 1.1), экваториальный 6378 км и полярный 6356 км. Площадь поверхности Земли составляет около 510,2 млн км², в том числе суши — 149,1 млн км², или 29,2%, морей и океанов — 361,1 млн км², или 70,8%.

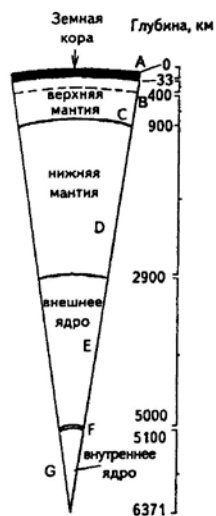


Рис. 1.1. Схема внутреннего строения Земли

Масса Земли равна $5,976 \times 10^9$ трлн т, средняя плотность — $5,52 \text{ г/см}^3$. Поскольку средняя плотность горных пород на поверхности Земли составляет $2,7\text{--}3,0 \text{ г/см}^3$, следует считать, что с глубиной плотность вещества повышается, достигая в центре Земли $11,5\text{--}12,3 \text{ г/см}^3$.

§ 2. Геосферы

На основании изучения характера распространения сейсмических волн, определения массы и плотности Земли установлено, что наша планета имеет неоднородное строение и состоит из концентрических оболочек — геосфер (рис.1.2). К внутренним геосферам относятся ядро, мантия и литосфера (земная кора), к внешним — гидросфера, атмосфера и биосфера.

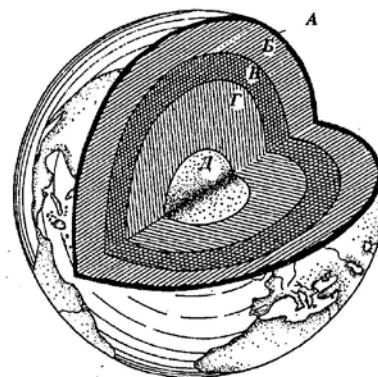


Рис. 1.2. Внутренние геосферы Земли:

А — литосфера; Б — верхняя мантия; В — нижняя мантия; Г — внешнее ядро; Д — внутреннее ядро

Непосредственному наблюдению доступны лишь внешние геосферы и самая верхняя часть литосферы. С помощью буровых скважин человеку удалось проникнуть на глубину не более 12,5 км.

Между геосферами Земли происходит постоянный взаимный обмен веществом и энергией. Литосфера, атмосфера, гидросфера и биосфера тесно взаимодействуют между собой. В совокупности они определяют основные особенности развития геологической среды.

Внутренние геосферы. Ядро Земли начинается с глубины 2900 км. Земное ядро делят на жидкое (внешнее) ядро (2900–5000 км), переходный слой в интервале глубин 5000–5100 км и твердое (внутреннее) ядро (5100–6371 км). Ядро почти вдвое плотнее, чем мантия, и оно, вероятно, состоит из железа и никеля с примесью кремния и серы. Температура ядра более $3500 \text{ }^\circ\text{C}$.

Мантия Земли располагается на глубине 5–75 км от поверхности земли до глубины 2900 км и состоит из двух частей — нижней и верхней мантии. Благодаря огромному давлению (до 136 ГН/м^2) вещество

мантии плотное, в ее составе преобладают железо, кремний, а также магний, никель и другие элементы.

Совместно с ядром мантия формирует гравитационное поле Земли и вместе с солнечной радиацией во многом определяет температурный режим Земли.

В верхней части мантии содержится слой пониженной прочности и вязкости, получивший название **астеносферы**. Повышенная текучесть вещества в литосфере обуславливает перемещение литосферных плит, а при наличии в земной коре разломов — излив подкорковых масс на поверхность. В этой зоне зарождаются сейсмические, вулканические, горообразовательные и другие процессы, определяющие степень стабильности участков земной коры.

Литосфера (от греч. *litos* — камень, *sphaira* — шар) — твердая каменная оболочка Земли, включающая земную кору и часть верхней мантии (субстрат). Граница между ними называется поверхностью Мохоровичича.

Земная кора различна по составу, строению и мощности на континентах и в океане. Различают два типа земной коры: континентальный («гранитный») и океанический («базальтовый») (рис. 1.3).

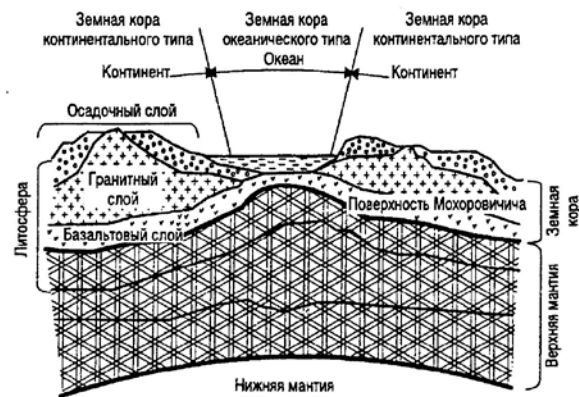


Рис. 1.3. Схема строения литосферы

Континентальная (материковая) кора имеет мощность под равнинами в среднем 33 км, достигая 60–75 км под горами (Гималаями, Андами и др.). В строении континентальной коры выделяют три слоя: 1) осадочный, состоящий из осадочных пород мощностью до 20 км; 2) «гранитный», образованный гранитоидами — светлоокрашенными горными породами мощностью 10–40 км; 3) «базальтовый»; скорость распространения сейсмических волн в этом слое 6,4–7,3 км/с, что характерно для базальта, откуда название слоя — «базальтовый». Его мощность составляет 15–35 км. Состоит предположительно из горной породы габбро.

Океаническая кора, по современным представлениям, также имеет трехслойное строение, однако ее мощность ограничена лишь 5–8 км. В переходной зоне от материка к океану залегает кора промежуточного типа (субконтинентальная или субокеаническая).

Внешние геосферы. Гидросфера (греч. «гидро» — вода) — водная оболочка Земли. Гидросферу подразделяют на поверхностную и подземную.

Поверхностная гидросфера — водная оболочка поверхностной части Земли. В ее состав входят воды океанов, морей, озер, водохранилищ, болот, ледников, снежных покровов и др. Все эти воды постоянно или временно располагаются на земной поверхности и носят название поверхностных.

Поверхностная гидросфера не образует сплошного слоя и прерывисто покрывает земную поверхность на 70,8%.

Наука, изучающая поверхностные воды, явления и процессы, в них протекающие, называется **гидрологией**.

При проектировании и строительстве зданий и сооружений вблизи поверхностных водоемов и водотоков, наряду с другими факторами природных условий, обязательно учитывают и гидрологические условия — основные параметры рек, озер, водохранилищ и других водных объектов, их режим, опасные гидрометеорологические процессы и явления и др.

Подземная гидросфера включает воды, находящиеся в верхней части земной коры. Эти воды называют подземными, и изучает их наука **гидрогеология**. Значение подземных вод в строительстве подробно рассматривается нами в разделе II «Основы гидрогеологии».

Образование гидросферы связано с дегазацией воды из мантии Земли. По отношению к объему земного шара общий объем гидросферы не превышает 0,13%. Основную часть гидросферы (96,53%) составляет Мировой океан (табл. 1.1). На долю подземных вод приходится 23,4 млн км³, или 1,69% от общего объема гидросферы, остальное — воды рек, озер и ледников.

Таблица 1.1

Распределение вод на Земле

Части гидросферы	Площадь распространения, тыс. км ²	Объем воды, тыс. км ³	Доля от общих мировых запасов воды, %
Мировой океан	361 300	1 138 500	96,53
Ледники и снега (полярные и горные области)	16 227	24 064	1,74
Подземные воды	134 800	23 400	1,69
Подземные льды в зоне вечной мерзлоты	21000	300	0,023
Озера	2058	176	0,014
Почвенная влага	82 000	16,5	0,001
Пары атмосферы	510 000	12,9	0,001
Болота	2 682	11,4	0,0007
Речные воды	148 800	2,1	0,0002

Более 98% всех водных ресурсов Земли составляют соленые воды океанов, морей и др. Общий объем пресных вод на Земле равен 28,25 млн км³, или около 2% общего объема гидросферы. Основная часть пресных вод сосредоточена в ледниках, воды которых пока используются очень мало. На долю остальной части пресных вод, пригодных для водоснабжения, приходится 4,2 млн км³ воды, или всего лишь 0,3% объема гидросферы. В XXI в. во многих районах мира прогнозируется значительный дефицит пресной воды.

Россия располагает огромными ресурсами пресных вод, однако распределены они на территории нашей страны неравномерно, что вызывает значительные трудности при решении вопросов водоснабжения.

Гидросфера играет огромную и многообразную роль в формировании природной, и прежде всего геологической, среды нашей планеты. С одной стороны, она весьма активно разрушает поверхностную часть литосферы, а с другой — выступает как созидательный фактор, способствуя накоплению мощной толщи осадков и создавая огромные (но не безграничные) запасы пресных вод.

На нынешнем этапе развития техносферы, когда в мире еще в большей степени возрастает воздействие человека на гидросферу, необходимо осознание таких реальных угроз для природной среды, какими является в наше время загрязнение и истощение поверхностных и подземных вод.

Атмосфера (греч. «атмос» — пар) — газовая оболочка Земли, состоящая из смеси различных газов, водяных паров и пыли. Общая масса атмосферы (до высоты около 3 км) — $5,15 \cdot 10^{15}$ т. Атмосфера физически, химически и механически воздействует на литосферу, регулируя распределение в ней тепла и влаги.

Погода и климат на Земле зависят от распределения тепла, давления и содержания водяного пара в атмосфере. Водяной пар поглощает солнечную радиацию, увеличивает плотность воздуха и является источником всех осадков. Атмосфера является важным геологическим агентом (выветривание горных пород, эоловые процессы и др.).

Атмосфера имеет сложное строение. От поверхности Земли вверх она подразделяется на тропосферу, стратосферу, мезосферу и термосферу.

В формировании природной среды особенно велика роль тропосферы (нижний слой атмосферы до высоты 8–10 км в полярных, 10–12 км в умеренных и 16–18 км в тропических широтах). В тропосфере происходят глобальные вертикальные и горизонтальные перемещения воздушных масс, во многом определяющие круговорот воды, теплообмен, трансграничный перенос пылевых частиц и загрязнений и др.

Атмосферные процессы тесно связаны с процессами, происходящими в литосфере и гидросфере. Наука о физических процессах и явлениях в атмосфере Земли и их взаимодействии с земной поверхностью и космической средой называется метеорологией.

Сбором и обработкой информации о текущем и будущем состоянии атмосферы, а также рек, озер, морей и других водных объектов занимается гидрометеорологическая служба.

При метеорологическом обеспечении строительства инженеру-проектировщику, прежде всего, необходимы сведения о средней и максимальной суточных амплитудах температур воздуха, влажности, осадках, объемах снеготранспорта за зиму ($\text{м}^3/\text{м}$), направлениях и скорости ветра, солнечной радиации и других параметрах (СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. М., 1983).

Биосфера — это сфера жизнедеятельности организмов, в которую входят часть атмосферы до высоты 25–30 км (до озонового слоя), практически вся гидросфера и верхняя часть литосферы примерно до глубины 3 км. Взаимодействие абиотической части биосферы — воздуха, воды, горных пород и органического вещества — биоты обусловило формирование почв и осадочных пород. Последние, по В. И. Вернадскому, несут на себе следы деятельности древних биосфер, существовавших в прошлые геологические эпохи.

§ 3. Температурный режим земной коры

Земная кора находится под воздействием внутренних и внешних источников теплоты. Внутренняя теплота Земли связана с выделением тепла из ядра и мантии, вследствие распада радиоактивных элементов (урана, тория, калия и др.). Это так называемое радиогенное тепло, которое предопределяет развитие внутренних (эндогенных) геологических процессов. Другими источниками внутренней тепловой энергии являются гравитационная дифференциация вещества и приливное трение, возникающее при замедлении вращения Земли из-за приливного взаимодействия с Луной и Солнцем.

Внешняя теплота Земли обусловлена мощным солнечным излучением в количестве $5,26 \cdot 10^{15}$ МДж в год.

Изучение температурного режима верхней части земной коры имеет важнейшее значение при бурении сверхглубоких скважин, а также при глубоком подземном строительстве (проходка тоннелей, шахт и других подземных сооружений). В областях сезонного промерзания грунтов, а также вблизи источников теплового техногенного воздействия температура горных пород также во многом определяет их строительные свойства и требует специального изучения. Следует

учитывать, что техногенные (искусственные) источники тепловой энергии (подземная газификация углей, глубинный обжиг, промышленное производство и т. д.) оказывают все большее влияние на температурный режим поверхностной части земной коры и значительно изменяют его.

Тем не менее решающее влияние на температурный режим самой верхней части земной коры оказывает солнечная радиация (99,5%) и в значительно меньшей степени энергия недр планеты (0,5%). Однако значение последней с глубиной постоянно возрастает.

В верхней части земной коры выделяют три температурные зоны (рис. 1.4): I — переменных температур, II — постоянных температур и III — нарастания температур. Изменение температур в зоне I определяется климатическими условиями местности. Для средних широт характерна кривая *a* (летний период) и кривая *b* (зимний период). Годовые (сезонные) колебания температур затухают на глубинах 12–15 м, иногда более (до 20–30 м), а суточные обычно не превышают 1,5 м. В зимний период образуется подзона IA, где температура опускается ниже нуля градусов. Мощность подзоны IA, или, иначе, глубина сезонного промерзания, зависит от климата, типа горных пород и других факторов и колеблется от нескольких сантиметров до 2 м и более.

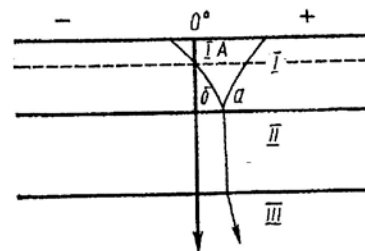


Рис. 1.4. Температурные зоны в верхней части земной коры

По мере углубления в недра Земли влияние суточных и сезонных колебаний уменьшается, и на глубине примерно 15–30 м находится зона постоянной температуры (II), равная среднегодовой для данной местности. Например, в г. Москве пояс постоянных температур

(4,2 °С) проходит на глубине 20 м, а в Париже — на глубине 28 м (11,8 °С).

Ниже зоны постоянных температур (II) находится зона III, в пределах которой температура с глубиной возрастает. Это связано с тепловым потоком, поступающим из внутренних частей Земли. Величина нарастания температуры на каждые 100 м называется **геотермическим градиентом** (в °С), а глубина, при которой температура повышается на 1 °С, — **геотермической ступенью**. В среднем геотермический градиент принимается равным 30° на 1 км, а геотермическая ступень — 33 м. Однако, как показали результаты бурения сверхглубокой скважины (12,5 км) на Кольском полуострове, геотермический градиент, равный 30° на 1 км, характерен только для самой верхней части земной коры. По-видимому, закономерное нарастание температуры с глубиной, в соответствии с принятым геотермическим градиентом, справедливо лишь до некоторой глубины, а геотермическая ступень на разных участках Земли также может колебаться в довольно широких пределах (Мончегундра — 6,54 м, Донецкий бассейн — 30,68 м и т. д.).

Глава 2. МИНЕРАЛЫ

Минералы являются составной частью любых горных пород (гранитов, песчаников, глин и др.), слагающих земную кору. В инженерной геологии изучению минерального состава горных пород уделяется достаточно большое внимание. Это связано с тем, что такие важнейшие строительные свойства горных пород (грунтов), как прочность, сжимаемость, плотность частиц грунта, растворимость в воде, устойчивость к выветриванию и др., во многом определяются тем, из каких минералов они состоят.

§ 1. Общие сведения о минералах

Минералы — это природные химические соединения или самородные элементы, которые имеют определенный химический состав и физические свойства и образуются в результате физико-химических процессов, происходящих в земной коре или на ее поверхности.

Наука о составе, строении, свойствах и происхождении минералов называется **минералогией**.

В настоящее время известно более 3200 минералов, а вместе с разновидностями — более 7000. Минералы могут находиться в различных состояниях: твердом (кварц, гипс, лед), жидком (ртуть, вода) и газообразном (углекислый газ). В горных породах преобладающее развитие имеют твердые минералы.

Минералы, которые содержатся в породах в значительных количествах и заметно влияют на их свойства, называют **породообразующими**. Например, в гранитах это полевые шпаты (их содержание составляет до 60%), кварц (20–25%) и слюда (15–20%). Эти минералы и определяют основные строительные свойства гранитов.

Число породообразующих минералов невелико и составляет около 100 из более чем 2000 известных минералов. В ряде случаев на свойства горных пород оказывают влияние и так называемые второстепенные (акцессорные) минералы, находящиеся в породах в небольших количествах. Так, например, пирит (FeS_2) даже в количестве 1–2% резко ухудшает строительные свойства гранитов и делает их непригодными для использования в качестве облицовочного камня.

Структура минералов. Подавляющее большинство минералов имеют кристаллическое строение, которое выражается в их геометрически правильной многогранной форме — кристаллах (рис. 2.1). Составляющие кристалл элементарные частицы (атомы, ионы или молекулы) располагаются в строго определенном порядке, образуя кристаллическую решетку.

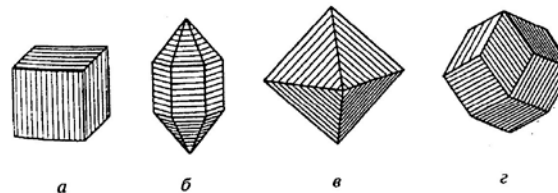


Рис. 2.1. Форма кристаллов некоторых минералов:
а — галит; б — кварц; в — алмаз; г — гранат

Для кристаллов характерна анизотропность, т. е. их физические и оптические свойства разные по различным направлениям. Например, кристаллы слюды легко расщепляются лишь в одной плоскости.

Значительно реже встречаются минералы с аморфным (стеклообразным) строением вещества (опал, смола, битумы и др.). Для них характерны отсутствие кристалличности, неправильная внешняя форма и изотропность, т. е. одинаковость свойств по всем направлениям.

Для всех кристаллических многогранников характерна симметрия, т. е. закономерное повторение граней, ребер и вершин кристалла. Различные виды симметрии по степени сложности группируются в системы, называемые сингониями: 1) триклинную; 2) моноклинную; 3) ромбическую; 4) тригональную; 5) гексагональную; 6) тетрагональную и 7) кубическую (рис. 2.2).

Происхождение минералов. По условиям образования минералы подразделяют на три группы: эндогенные, экзогенные и метаморфические.

Эндогенные (греч. «эндо» — внутри) минералы образуются в глубинах земной коры при кристаллизации магматического огненно-жидкого силикатного расплава или его производных (горячих растворов, газов и др.). Таким путем образуются, например, полевые шпаты, слюды, кальцит, самородные элементы (золото, серебро и др.).

Экзогенные (греч. «экзо» — внешние) минералы (гипс, галит, глинистые минералы и др.) образуются в самой верхней части земной коры и на ее поверхности при разрушении горных пород, переотложении и осаждении из водных растворов и т. д.

Метаморфические минералы (талек, хлориты, актинолит и др.) — это видоизмененные минералы, которые образуются в недрах Земли под воздействием на другие минералы высоких температур, давления, а также химически активных веществ.

Отдельно выделяется группа **искусственных минералов**, специально созданных человеком для различных технических целей.

В настоящее время насчитывается более 150 наименований искусственных минералов. Это либо аналоги природных минералов — алмаз (C), корунд (Al_2O_3), горный хрусталь (SiO_2) и др., либо техногенные минералы — белит ($2CaO \cdot SiO_2$), карбид кремния (SiC) и др.

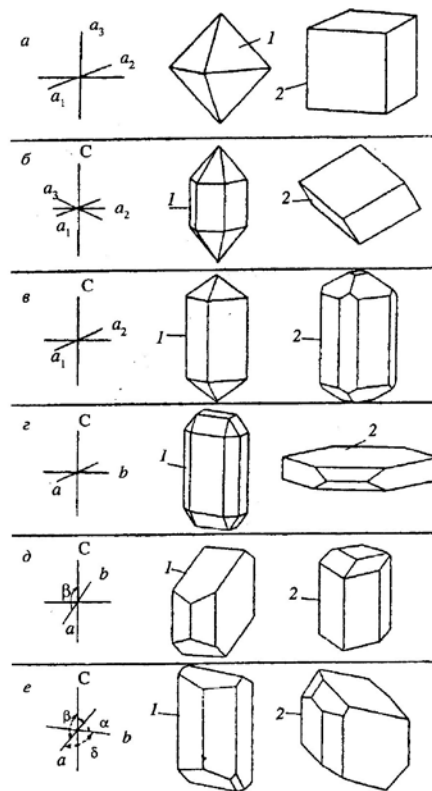


Рис. 2.2. Кристаллографические системы (по Ф. Брайсу): а — кубическая: 1 — алмаз; 2 — галит; б — гексагональная: 1 — кварц; 2 — кальцит; в — тетрагональная: 1 — циркон; 2 — везувиян; г — ромбическая: 1 — оливин; 2 — барит; д — моноклинная: 1 — ортоклаз; 2 — роговая обманка; е — триклинная: 1 — альбит; 2 — аксинит

§ 2. Химический состав и физические свойства минералов

Химический состав минералов весьма разнообразен. Наиболее распространенные составные элементы минералов — кремний (Si) и алюминий (Al) дают много разнообразных соединений, поскольку кремний имеет четыре заряда, а алюминий способен замещать кремний и давать соединения с ним и с кислородом.

Химический состав минералов выражается эмпирическими и структурными формулами. Первые показывают количественные соотношения элементов, входящих в состав минерала. Например, эмпирическая формула ортоклаза — $K_2Al_2Si_6O_{16}$. Представление о характере взаимной связи элементов в пространственной решетке этого минерала дает структурная формула — $K[AlSi_3O_8]$.

По химическому составу минералы подразделяются на отдельные классы, характеристика которых будет приведена ниже.

Физические свойства минералов. К физическим свойствам относят морфологические (внешняя форма), оптические (цвет, прозрачность, блеск, цвет черты и др.) и механические (твердость, спайность, излом, плотность) свойства.

Определение физических свойств минералов имеет большое диагностическое значение. При проведении инженерно-геологических исследований в полевых условиях с помощью изучения физических свойств минералов получают предварительную информацию о минеральном составе и некоторых свойствах горных пород.

Морфологические признаки. Внешняя форма (облик) минералов может быть выражена кристаллами, большими многогранниками либо небольшими зернами. Хорошо ограненные кристаллы в природных условиях встречаются сравнительно редко, обычно они приобретают неправильные очертания. Помимо единичных форм кристаллов встречаются и их скопления: друзы (сростки кристаллов на стенках трещин и пустот), конкреции (шарообразные стяжения, желваки), жеоды (заполненные округлые полости), дендриты (тонкие кристаллы, подобные веткам растений). Часто в горных породах встречаются примазки, налеты и выцветы минералов.

Размер отдельных кристаллов минералов может колебаться от нескольких метров (полевые шпаты, кварц и др.) до частиц < 1 мкм, которые можно рассмотреть только с помощью электронного микроскопа.



Рис. 2.3. Форма некоторых минералов (по В. Шуману): двойниковый сросток пирита (слева) и двойник прорастания гипса (справа)

Оптические свойства. Цвет минералов зависит от химического состава и может изменяться при наличии примесей. Так, например, кварц может быть бесцветным (горный хрусталь), черным (морин), фиолетовым (аметист) и т. д. Для некоторых минералов (малахит, азурит) цвет строго постоянен. Очень часто более важным отличительным признаком минерала, чем цвет самого минерала, является его черта.

Важным диагностическим признаком служит **блеск минералов**. Различают металлический (пирит, галенит) и неметаллический блеск, который подразделяется на стеклянный (кальцит, гипс), жирный (талк), матовый (полевые шпаты, каолинит), перламутровый (слюда), шелковистый (асбест) и др.

Прозрачность минералов бывает различной — от минералов, легко пропускающих свет (горный хрусталь, кальцит), до непрозрачных (роговая обманка, пирит). Такие минералы, как гипс, опал и др., относятся к полупрозрачным.

Механические свойства минералов, особенно их твердость, — являются важнейшими диагностическими признаками. **Твердость** характеризует способность минералов противостоять царапанию, сверлению или истиранию.

Относительная твердость минералов определяется по 10-балльной шкале, предложенной Ф. Моосом (табл. 2.1). Абсолютная твердость определяется на специальных приборах — склерометрах и используется в технике.

Таблица 2.1

Относительная твердость минералов

Эталонные минералы	Твердость по Моосу	Число твердости, МПа	Приближенная (полевая оцeпка)
Тальк	1	24	Мягкие (чертятся ногтем)
Гипс	2	360	
Кальцит	3	1090	Средние (чертятся столовым ножом)
Флюорит	4	1890	
Апатит	5	5360	
Ортоклаз	6	7967	Твердые (царапают стекло)
Кварц	7	11 200	
Топаз	8	14 270	Очень твердые (режут стекло)
Корунд	9	20 000	
Алмаз	10	100 600	

Спайность — способность минералов раскалываться или расщепляться по определенным ровным плоскостям. Спайность бывает весьма совершенная (слюды), совершенная (кальцит), средняя (полевые шпаты), несовершенная (апатит) и весьма несовершенная (кварц).

Излом — форма поверхности, которая образуется при раскалывании минералов. Различают излом раковистый (кварц), ровный (магнетит), землистый (лимонит), занозистый (асбест) и др.

Плотность минералов колеблется от 0,6 до 23 г/см³. По плотности их делят на легкие — до 2,5 г/см³, средние — от 2,5 до 3,3 г/см³, тяжелые — от 3,3 до 6,0 г/см³ и очень тяжелые — более 6,0 г/см³ (рудные минералы).

§ 3. Классификация минералов по химическому составу

По химическому составу и их внутреннему строению минералы подразделяются на 10 классов (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Классификация минералов по химическому составу

Класс	Наименование	Характерные представители
I	Силикаты	Ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$
II	Карбонаты	Кальцит $CaCO_3$
III	Оксиды	Кварц SiO_2
IV	Гидроксиды	Опал $SiO_2 \cdot nH_2O$
V	Сульфиды	Пирит FeS_2
VI	Сульфаты	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
VII	Галоиды	Галит $NaCl$
VIII	Фосфаты	Апатит $Ca_5(F,Cl)[PO_4]_3$
IX	Вольфраматы	Вольфрамит $(Fe, Mn)WO_4$
X	Самородные элементы	Алмаз C

Приводим краткую характеристику основных классов минералов.

Силикаты (полевые шпаты, слюды, пироксены, хлориты и др.). Наиболее многочисленный класс (до 800 минералов), слагающий по массе более 90% всей земной коры. В основе строения всех силикатов — кремнекислородный тетраэдр $[SiO_4]^{4-}$. Силикаты являются породообразующими минералами для большинства магматических и метаморфических горных пород. Самыми распространенными среди силикатов являются полевые шпаты, которые подразделяются на калиево-натриевые (ортоклаз) и известково-натриевые, или плагиоклазы (альбит, лабрадор, анортит).

В составе силикатов большое практическое значение имеет группа глинистых минералов — каолинит, гидрослюда и особенно монтмориллонит. Эти минералы во многом определяют инженерно-геологические особенности глинистых пород и отличаются весьма высокой дисперсностью (< 1 мкм).

Карбонаты (кальцит — CaCO_3 , доломит — $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, сидерит — FeCO_3 и др.). В класс карбонатов входит до 80 минералов, наиболее известен среди них кальцит, входящий в состав таких горных пород, как известняк и мрамор. Карбонаты растворяются в воде и вызывают развитие опасных геологических процессов.

Оксиды и гидроксиды (кварц и халцедон — SiO_2 , 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 др.). Наиболее распространенным и весьма устойчивым минералом среди них является кварц, входящий в состав почти всех горных пород.

Сульфиды (пирит FeS_2 , галенит PbS , сфалерит ZnS и др.) в химическом отношении представляют собой соединения различных элементов с серой. Наиболее распространен среди них пирит, отрицательно влияющий на качество природных строительных материалов. Всего в классе сульфидов насчитывается до 200 минералов.

Сульфаты (гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, ангидрит CaSO_4 , барит BaSO_4 и др.) — соли серной кислоты, типичные минералы осадочных горных пород. Представители этого класса насчитывают до 260 минералов. Их характерная особенность — растворимость в воде, что является причиной развития (как и в карбонатах) опасного геологического процесса — карста.

Галонды (галит — NaCl , сильвин — KCl , флюорит — CaF_2 и др.) — соли галоидно-водородных кислот. Многие из них растворимы в воде и придают ей повышенную минерализацию.

Фосфаты (апатит — $\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl})(\text{PO}_4)_3$ и др.) представлены большим количеством минералов (до 300), однако содержание их в земной коре не превышает 1%.

Вольфраматы (вольфрамит — $(\text{FeMn})\text{WO}_4$ и др.) не имеют породообразующего значения и в горных породах встречаются крайне редко. Многие сплавы вольфрамов обладают очень высокой твердостью, например победит, широко используемый при бурении скважин.

Самородные элементы (алмаз — C , сера — S , золото — Au и др.). В этот класс входит около 50 минералов. Встречаются они редко, и в земной коре их масса не превышает 0,1%.

Для общей характеристики состава минералов, входящих в состав горных пород, в инженерно-геологической практике их изучают с помощью **шлифов** — тончайших прозрачных пластинок горных пород толщиной 0,03 мм. Для просмотра шлифов используют поляризационный микроскоп (рис. 2.4). Высокодисперсные глинистые

минералы (монтмориллонит и др.), имеющие важное значение при инженерно-геологической оценке горных пород, изучают с помощью электронной микроскопии, термического анализа, рентгенографии и других методов (рис. 2.5).



Рис. 2.4. Поляризационный микроскоп

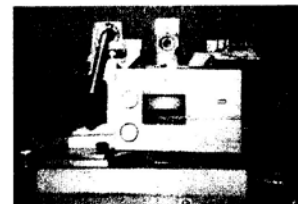


Рис. 2.5. Универсальный рентгеновский стационарный прибор

Глава 3. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

§ 1. Общие сведения о горных породах и их классификация

Горные породы — природные минеральные агрегаты, слагающие земную кору. Название «горные породы» — условное и распространяется на все породы земной коры, независимо от места их нахождения (горы, равнины и т. д.).

Горные породы обычно состоят из нескольких минералов (например, гранит — из кварца, полевых шпатов, слюды и др.), реже — из одного минерала (известняк из кальцита). Первые называются полиминеральными горными породами, вторые — мономинеральными. В настоящее время известно более 1000 видов различных горных пород. Отрасль геологии, которая изучает состав, строение и условия залегания горных пород, называется **петрографией**.

По происхождению (генезису) горные породы разделяются на три типа: магматические, осадочные и метаморфические. В свою очередь указанные типы делятся на группы по условиям их залегания в земной коре (рис. 3.1). Генезис и условия залегания во многом определяют состав и свойства горных пород. Поэтому генетическая классификация горных пород имеет большое значение при их инженерно-геологической и строительной оценке.



Рис. 3.1. Классификация горных пород по происхождению и условиям залегания в земной коре

Верхняя часть земной коры на 75% сложена осадочными горными породами и на 25% магматическими и метаморфическими (в основном они развиты в горных районах). Основную же массу всей земной коры составляют магматические горные породы (около 95% ее массы).

§ 2. Магматические горные породы

Происхождение и классификация. Магматические горные породы образуются в результате застывания и кристаллизации расплавленной магмы при внедрении ее в земную кору (глубинные или интрузивные горные породы) или при излиянии на поверхность в процессе вулканической деятельности (излившиеся или эффузивные горные породы).

Магма представляет собой огненно-жидкий силикатный расплав, образующийся в глубинных зонах Земли. В ее составе SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO и другие компоненты, водные растворы, пары воды и газы. Застывая, магма в зависимости от состава, а также от температуры и давления образует разнообразные минералы и горные породы. При классификации магматических горных пород учитывается их химический и минеральный состав. В зависимости от содержания кремнезема (SiO_2) выделяют четыре группы магматических пород: кислые, средние, основные и ультраосновные (табл. 3.1). Каждой глубинной магматической породе соответствует излившийся аналог с таким же химическим составом. С уменьшением содержания кремнезема (SiO_2) в глубинных породах увеличивается содержание темноцветных минералов, они темнеют, становятся плотнее, температура плавления понижается.

Таблица 3.1

Классификация магматических пород

Состав пород		Породы	
Химический	Минеральный	Глубинные	Излившиеся (аналоги глубинных)
Кислые породы $\text{SiO}_2 > 65\%$	Кварц, полевые шпаты, слюды	Граниты, пегматиты, гранит-порфиры	Липариты, кварцевые порфиры
Средние породы $\text{SiO}_2 (65-52\%)$	Полевые шпаты, роговая обманка, авгит, реже слюды	Диориты, сиениты	Андезиты, трахиты, порфириты
Основные породы $\text{SiO}_2 (52-45\%)$	Плагиоклазы (чаще лабрадор), авгит, иногда оливин	Габбро	Базальты, диабазы
Ультраосновные породы ($< 45\%$)	Авгит, оливин, пироксенны	Перидотиты, пироксениты, дуниты	

Магматические глубинные (интрузивные) породы

К этому типу относятся гранит, диорит, сиенит, габбро и другие горные породы. Образуются они при застывании магмы на глубине. Магма из глубинных зон земной коры и подкорковых масс движется вверх по зонам тектонических нарушений (разломов). Не достигая поверхности земли, она внедряется в толщу горных пород и постепенно затвердевает. Взаимодействуя с горными породами, магма переплавляет их, частично ассимилирует и обогащает привнесенными элементами. Так образуются глубинные (интрузивные) горные породы различных типов и размеров.

Форма залегания. Глубинные (интрузивные) породы залегают в виде батолитов, лакколлитов, штоков, жил (даек) и др. (рис. 3.2 по Ю. М. Васильеву).

Батолиты представляют собой огромные (до многих сотен квадратных километров) магматические образования, уходящие вглубь широким основанием. Лакколлиты — интрузивные тела размером

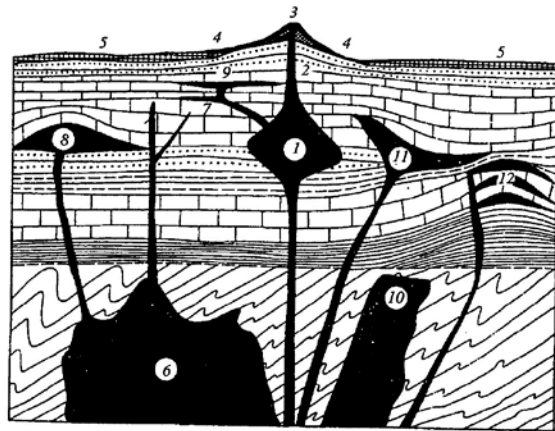


Рис. 3.2. Формы залегания магматических горных пород:
1 — вулканический очаг; 2 — жерло вулкана; 3 — конус (купол) вулкана;
4 — лавовые потоки; 5 — покровы; 6 — батолит; 7 — дайки; 8 — лакколлит;
9 — силлы (пластовые жилы); 10 — штоки; 11 — лополиты; 12 — факолиты

до нескольких километров, раздвигающие и приподнимающие вмещающие породы в виде свода. Типичными лакколлитами, вышедшими на поверхность земли, являются горы Машук, Бештау на Кавказе, гора Аю-Даг в Крыму и др. Штоки — магматические тела, уходящие в недра Земли в виде гигантских каменных столбов. При заполнении тектонических трещин магматическим расплавом образуют жилы. Если они секут пласты горных пород близко к вертикали, их называют дайками.

Структура глубинных пород (гранит, габбро и др.) всегда полнокристаллическая (зернистая), что связано с оптимальными условиями кристаллизации (медленное остывание). В зависимости от величины зерен минералов различают породы крупнозернистые (> 5 мм), среднезернистые (1–5 мм) и мелкозернистые (< 1 мм). Наибольшей прочностью обладают мелкозернистые породы.

Текстура глубинных пород в большинстве случаев массивная (однородная, компактная). При остывании магмы часто образуются трещины — отдельности. Например, для гранитов характерна глыбовая или матрацевидная отдельность.

Наличие в интрузивных телах блоков различной формы, т. е. отдельностей, во многом определяет их повышенную водопроницаемость и снижает устойчивость в откосах. Помимо трещин — отдельностей в магматических глубинных породах могут быть также тектонические трещины и разломы, трещины выветривания и другие виды трещиноватости.

Ниже приводится краткая характеристика главнейших представителей глубинных магматических пород.

Гранит — весьма прочная полнокристаллическая порода. Цвет — красный с темными оттенками, серый, розовый. Состоит из полевых шпатов (40–60%), кварца (20–40%), слюды, роговой обманки и других минералов. Граниты залегают в виде батолитов и штоков и часто разбиты трещинами.

Граниты морозостойки, прочны и хорошо обрабатываются, поэтому они имеют широкое распространение в строительстве. Граниты образуют самые крупные монолитные камни и являются надежным основанием многих крупнейших гидроэлектростанций в России (Красноярской и др.). Месторождения гранитов известны на Кольском полуострове, Урале, в Восточной Сибири и в других районах России.

Сиенит — бескварцевая разновидность гранита. Цвет серый, темно-серый и красноватый. Состоит из полевых шпатов и темноцветных минералов — роговой обманки, авгита, реже биотита. Формы залегания

ния — штоки и жилы. По внешнему виду и строительным свойствам близок к граниту.

Габбро — полнокристаллическая массивная порода темного (до черного) цвета. Состоит из полевых шпатов и темных минералов (авгит и др.). Залегает в виде лакколитов, штоков и пластовых залежей. Прекрасным облицовочным камнем является лабрадорит — разновидность габбро, сложенная минералом лабрадором. Габбровые породы широко развиты на Северном Урале, в Карелии и в других районах нашей страны.

Диорит — прочная полнокристаллическая порода темно-серого цвета, состоящая из полевых шпатов, роговой обманки и др. Обычно встречается в виде штоков и жил. Ценный материал для изготовления штучного камня и щебня, реже используется для облицовки. Месторождения диорита известны на Урале и в ряде других районов.

Магматические излившиеся (эффузивные) породы

К излившимся породам относятся базальт, диабаз, липарит, вулканический туф и др. Образуются они при остывании лавы, т. е. магмы, излившейся на поверхность земли в процессе вулканических извержений или трещинных излияний (в том числе на дне океанов).

Температура расплавленной лавы достигает 1100–1200 °С. Быстро остывая на поверхности земли, она не успевает полностью кристаллизоваться, как это наблюдается в случае медленного остывания магмы на глубине. Излияние лавы часто сопровождается выбросом из вулканов твердых продуктов — бомб, песка, пепла, а также выделением газов и водяных паров.

Формы залегания излившихся пород довольно однообразны. Различают: 1) вулканические купола — затвердевшую магму при ее излиянии на поверхность; 2) потоки — вытянутые в одном направлении магматические тела длиной до 10 км; 3) покровы — текущие лавы, распространившиеся во все стороны во время вулканических извержений. Известны грандиозные лавовые покровы на Сибирской платформе, в Индии, Исландии и в других районах мира. Почти половина площади Армении сложена андезито-базальтовым лавовым покровом мощностью до 50–70 м. Излившиеся лавовые покровы на Деканском плоскогорье в Индии занимают площадь более 600 тыс. км² при средней мощности 150 м (местами до 1,8 км).

Структура излившихся пород резко отличается от структуры глубинных пород (рис. 3.3 (1 и 2)). Быстрое остывание в условиях низкого давления способствует формированию у излившихся пород структур — скрытокристаллических (отдельные минералы видны только под микроскопом), полукристаллических и стекловатых (сплошная аморфная масса) (рис. 3.3 (3)). Выделяют еще порфиристую и порфириовидную структуры (на фоне скрытокристаллической массы видны крупные кристаллы — включения (рис. 3.3 (4 и 5)). Породы с порфиристой, порфириовидной и стекловатой структурами менее прочны, чем со скрытокристаллической структурой.

Среди текстур в излившихся породах различают массивные, пористые, шлаковые и миндалевидные.

Как и глубинные, излившиеся магматические породы подвержены трещинообразованию. При застывании лавы в ней образуются вертикальные и горизонтальные трещины, которые разделяют всю ее массу на отдельные различной формы. Трещины отдельностей снижают прочность пород в общем массиве и повышают водопроницаемость.

К числу главных представителей излившихся (эффузивных) пород относится базальт. Это вулканический аналог габбро черного или темно-серого цвета. Структура скрыто- и мелкокристаллическая. Базальты весьма прочны и стойки к выветриванию. Часто образуют характерные столбчатые отдельности. Широко используется как дорожный

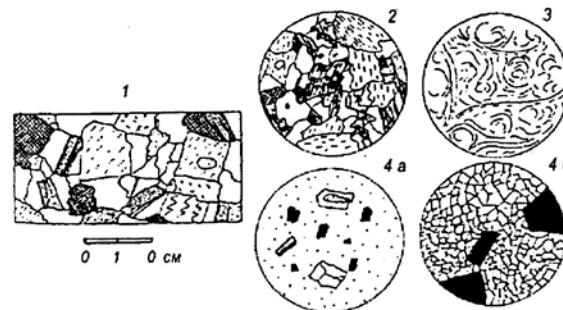


Рис. 3.3. Виды структур магматических пород (по И.А. Карловичу):
1 — кристаллическая; 2 — равномернозернистая; 3 — стекловатая;
4а — порфиристая; 4б — порфириовидная

и строительный камень. Красная площадь в г. Москве вымощена базальтом. Находит также применение как кислотоупорный материал и каменное литье. На территории России имеет ограниченное распространение (Восточная Сибирь, Дальний Восток, Камчатка и др.).

Диабаз, как и базальт, является вулканическим аналогом габбро и по минеральному составу близок к нему. Цвет от темно-зеленого до черного. Структура скрытокристаллическая, реже порфировая. Текстура массивная. Отличается высокой прочностью, морозостойкостью. Способен хорошо обрабатываться. На базальтах и диабазах возведены Братская, Усть-Илимская, Вилуйская ГЭС. Месторождения диабазов известны в Восточной Сибири, Забайкалье, на Дальнем Востоке и др.

Липарит и кварцевый порфир — вулканические аналоги гранитов. Цвет светлый, розовый. Структура порфировая, основная масса стекловатая. Текстура массивная, полосчатая. Используются как бутовый камень, щебень для бетонов, тесаный камень. Небольшие их месторождения известны на Северном Кавказе (г. Пятигорск), Дальнем Востоке и на Урале.

Вулканический туф образовался при осаждении вулканического пепла, песка, бомб и других продуктов извержений, впоследствии уплотненных и сцементированных. Различают крупнообломочные туфы или туфобрекчи, мелкообломочные — туфопесчаники и стекловатые вулканические туфы. Широко используется в промышленности строительных материалов, прекрасный стеновой и облицовочный камень. Основные запасы туфа сосредоточены в Армении, а в России — на Камчатке.

Андезит и порфирит — по своему минеральному составу аналог диоритов (см. табл. 3.1). Для них характерны темная окраска, скрытокристаллическая и порфировая структуры. Менее прочны, чем базальт и диабаз. Широко используются как стеновой, дорожный и поделочный камень. Распространены в Восточной Сибири, а плитчатые отдельности порфиритов — на Урале и Дальнем Востоке.

Магматические горные породы в строительстве. Строительные свойства магматических глубинных и излившихся пород в целом достаточно высокие. Они не растворяются в воде, водонепроницаемы только по трещинам и, как правило, имеют высокую прочность и плотность. Прочность магматических пород во много раз превосходит нагрузки даже от самых тяжелых и ответственных сооружений. Наибольшей прочностью обладают базальты, диабазы, диориты и граниты.

Однако в природных условиях в массиве магматических горных пород могут находиться сильно выветрелые разности пород (вплоть до состояния «рухляков»), что резко снижает их устойчивость и несущую способность. Отрицательными качествами магматических пород являются также трещиноватость и наличие крупных пустот (в лавовых покровах). Оценка степени выветривания и трещиноватости магматических горных пород особенно важна при проектировании и строительстве таких ответственных сооружений, как плотины, водохранилища и тоннели.

§ 3. Осадочные горные породы

Происхождение. Осадочные горные породы (песок, глина, известняк, мел и др.) в отличие от магматических являются вторичными. Образуются они за счет разрушения (выветривания) других ранее существовавших горных пород и последующего переотложения продуктов разрушения различными способами. В образовании многих осадочных пород весьма существенна роль растительных и животных микроорганизмов, а также солей, выпадающих из водных растворов мелководных бассейнов.

В формировании осадочных пород обычно выделяют следующие стадии: 1) физическое и химическое разрушение и разложение (выветривание) исходных горных пород; 2) перенос (транспортировка) водой, ветром, ледниками и т. д. продуктов разрушения; 3) осаждение и постепенное накопление вещества (седиментогенез); 4) преобразование рыхлого осадка в породу (диагенез) и 5) цементация пород в результате различных физико-химических процессов.

Совокупность и последовательность этих стадий, по Н. М. Стрехову, называются **литогенезом**. Особенно наглядно они прослеживаются при формировании озерных, морских и речных осадков.

Таким образом, в отличие от магматических горных пород, возникающих в результате эндогенных (внутренних) процессов, осадочные породы образуются под действием экзогенных (внешних) процессов, непрерывно разрушающих и создающих поверхностную часть Земли. Прерывистым чехлом они покрывают практически всю земную поверхность, а потому наиболее часто служат основанием различных инженерных сооружений.

Характерные особенности осадочных пород. В первую очередь это слоистость и наличие в породах остатков животных и растительных

организмов. Своеобразны также минеральный состав и текстурно-структурные особенности осадочных пород, отражающие специфические условия их образования.

Для осадочных пород характерна резкая изменчивость их состава и свойств, что вызывает весьма неоднозначную оценку их поведения в качестве основания, материалов для отсыпки насыпей или среды сооружений. Все эти генетические особенности осадочных пород, обусловленные стадиями литогенеза, существенно отличают их от пород иного происхождения.

Рассмотрим отличительные особенности осадочных пород подробнее.

Слоистость возникает вследствие изменения условий осадконакопления и проявляется в чередовании слоев различного состава, сложения, окраски и мощности (толщины). Наличие слоистости — важнейший признак осадочных пород.

Слой, однородный по составу на всем его протяжении и ограниченный более или менее параллельными поверхностями, называют **пластом**. Верхняя граница слоя называется кровлей, нижняя — подошвой, расстояние по перпендикуляру между ними — мощностью слоя. Группа слоев (пластов) образует **толщу**. Тонкий пласт небольшой протяженности, залегающий среди более мощных пластов, называют **пропластком** (прослойкой) (рис. 3.4).

На рис. 3.4 изображены и некоторые другие формы залегания слоев — линза, пережим, выклинивающий пласт. Инженерно-геологическое значение этих форм заключается в том, что под нагрузкой они могут вызывать неравномерную сжимаемость всей толщи пород или ее смещение, а следовательно, и неравномерную осадку и деформацию зданий и сооружений.

Слои пород могут залегать согласно (поверхности напластования параллельны), либо несогласно (поверхности напластования пересекаются). Различают следующие напластования горных пород: однородное, слоистое и сложное, т. е. когда слои залегают линзообразно, выклиниваются или имеют несогласное залегание.

Наличие органических остатков (скелетные части организмов в виде окаменелостей) и растительных в виде отпечатков весьма характерно для осадочных пород. Некоторые породы практически целиком состоят из органических или растительных остатков (известняк-ракушечник, мел, торф и др.) (рис. 3.5).

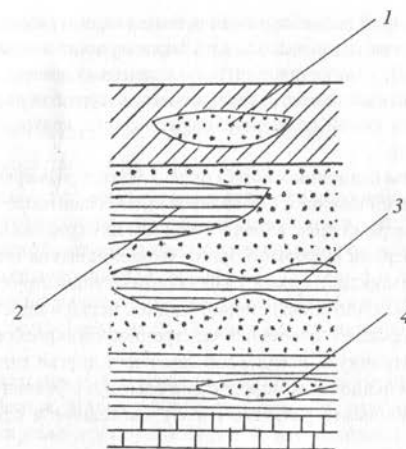


Рис. 3.4. Особенности залегания осадочных пород:
1 — линза; 2 — выклинивание; 3 — пережим слоя; 4 — пропласток



Рис. 3.5. Мел (фото под электронным микроскопом)

Минеральный состав осадочных пород характеризуется наличием обломков других горных пород (это характерно для осадочных обломочных пород), а также присутствием первичных минералов (полевые шпаты, кварц, слюда и др.) и вторичных, которые образовались при формировании самой осадочной породы (гипс, кальцит, глинистые минералы и др.).

Структуры осадочных пород определяются размерами и формой слагаемых их обломков (сцементированные осадочные обломочные породы), размерами кристаллов и степенью их окристаллизованности, а также размерами и формой органических остатков (хемогенные и органогенные породы). Самые разнообразные типы структур характерны для рыхлых обломочных пород (глины, пески и др.). Например, в глинистых породах с помощью электронного микроскопа выделяют ячеистую, матричную, псевдоглобулярную и другие типы структур.

Текстуры осадочных пород тесно связаны с условиями их образования. Наибольшее развитие имеют массивные и слоистые текстуры.

Классификация осадочных пород. По происхождению (генезису) и условиям залегания в земной коре осадочные породы обычно подразделяют на три группы: 1) обломочные; 2) хемогенные и 3) органогенные (см. рис. 3.1). Деление это достаточно условно, так как многие осадочные породы имеют смешанное происхождение, например, мергель содержит как обломочный (глинистый), так и химический материал (карбонаты).

Обломочные горные породы

К группе обломочных относят породы, которые состоят из обломков (частиц) различной величины и разного состава. Образуются они путем накопления продуктов разрушения других горных пород, привнесенных к месту накопления водой, ветром, ледниками или под действием силы тяжести. По характеру структурных связей между отдельными обломками их подразделяют на рыхлые и сцементированные обломочные породы.

Рыхлые обломочные породы. К этой группе относят крупнообломочные, песчаные и глинистые породы.

Крупнообломочные (или грубообломочные) породы содержат более 50% обломков крупнее 0,2 см. В зависимости от размера обломков их подразделяют на:

валуны (при преобладании неокатанных граней — глыбы) > 20 см	
галечник (при неокатанных гранях — щебень)	1–20 см
гравий (при неокатанных гранях — дресва)	0,2–1,0 см

В природных условиях часто встречаются породы смешанного состава: гравийно-галечные, щебенисто-дресвяные и т. д. При инженерно-геологической оценке крупнообломочных пород важное значение имеет характер заполнителя: глинистый, песчаный и др. Например, увеличение содержания глинистого заполнителя в валунно-галечных отложениях всего лишь на 3–5% снижает их водопроницаемость в десятки раз.

Крупнообломочные породы имеют широкое распространение в горно-складчатых районах (в долинах рек — в виде окатанных обломков, на склонах и у подножья гор — неокатанных). Немало их и в районах ледниковых отложений.

Песчаные породы состоят из зерен размером 2–0,05 мм. По минеральному составу в песках обычно преобладает кварц, в значительно меньшем количестве присутствуют полевые шпаты, слюды, кальцит и другие минералы.

Пески разделяются на полимиктовые, состоящие из многих минералов, олигомиктовые — сложенные двумя-тремя минералами и мономинеральные — одним минералом.

Пески имеют широкое распространение. По происхождению (генезису) среди них выделяют морские, эоловые, речные (аллювиальные), озерные, водно-ледниковые и другие типы песчаных отложений.

Глинистые породы состоят из песчаных частиц (2–0,05 мм), пылеватых (0,05–0,005 мм) и глинистых (< 0,005 мм). В зависимости от содержания глинистых частиц среди них различают следующие породы: супеси, суглинки и глины. Количественное соотношение песчаных, пылеватых и глинистых частиц определяет их разновидности: легкие, средние, тяжелые и пылеватые разности. Мощность глинистых отложений колеблется от нескольких сантиметров до нескольких сотен метров.

Цвет глинистых пород в зависимости от примесей различный, преобладают красно-бурые, серые и желто-бурые тона.

Глинистые породы образуются в результате переноса и осаждения продуктов выветривания (разрушения) различных пород. По генезису они могут быть речными, морскими, озерными и т. д. В минеральном составе глинистых пород преобладают глинистые минералы — каолинит, гидрослюда, монтмориллонит, которые придают им специфические свойства: пластичность, связность, липкость, набухание и др. Кроме того, в глинистых породах содержатся кварц, полевые шпаты, слюды и другие минералы.

Для глинистых пород характерна сильная изменчивость их состава, состояния и свойств. Это требует их детального изучения, учитывая, что глинистые породы весьма часто являются основаниями зданий и сооружений. На территории России это наиболее распространенные горные породы.

Сцементированные обломочные породы (песчаники и др.). Образуются при скреплении обломков природным цементом, выделяющимся из подземных вод, а также при погружении рыхлых обломочных пород в глубинные зоны земной коры.

Огромное значение при строительной оценке сцементированных обломочных пород имеет тип природного цемента. Наиболее прочны породы на кремнеземистом цементе, менее прочны на железистом и карбонатном цементах и наименее прочны на глинистом. Исследуется также характер цементации обломков. Он может быть базальным, когда обломки погружены в цемент и не соприкасаются между собой, контактным и поровым. Наиболее прочны породы с базальным цементом.

К сцементированным обломочным породам относят песчаник, конгломерат, брекчию, аргиллит и алевролит.

Песчаник представляет собой сцементированный песок. Имеет очень широкое распространение. Цвет обычно серый или бурый. Весьма разнообразен по составу, строению и свойствам. Строительные свойства песчаников во многом зависят от состава природного цемента, степени выветривания и трещиноватости. Песчаник широко используется в строительстве (щебень, дорожные покрытия, облицовочный камень и др.) (рис. 3.6).



Рис. 3.6. Песчаник плитчатый

Конгломерат — сцементированный галечник и гравий с примесью песка. Мощные толщи конгломератов образовались в эпохи горообразования (орогенеза). Структурные связи между обломками в конгломератах — жесткие кристаллизационные. При разработке строительных котлованов обычно держат устойчивые вертикальные откосы. Наибольшей прочностью обладают конгломераты с кремнеземистым цементом.

Брекчия отличается от конгломерата угловатостью обломков (глыбы, щебень, дресва). Брекчия на кремнеземистом цементе — это высокопрочная порода, устойчивая к выветриванию и малосжимаемая.

Аргиллит — твердая порода, образовавшаяся при обезвоживании, уплотнении и цементации песчано-пылеватых и глинистых пород. В зависимости от состава цемента могут быть слабopочными и очень прочными кварцеванными породами. Характерны скрытая слоистость и анизотропность свойств, не размокает в воде.

Алевролит — отвердевшие пылеватые породы, с преобладающим размером зерен 0,01–0,1 мм. Часто переслаиваются с глинами и песчаниками. Имеют слоистую текстуру. Способны к быстрому выветриванию.

Хемогенные породы

Хемогенные (химические) породы образуются в мелководных бассейнах при выпадении солей из водных растворов. Обычно это происходит при повышении их концентрации или изменении температуры. Хемогенная порода может образоваться и при выходе на поверхность минерализованных водных источников (известковый туф).

К хемогенным породам относятся карбонатные породы (известняки, доломиты, мергели, известковый туф), сульфатные (гипс, ангидрит) и галоидные (каменная соль).

Характерная особенность хемогенных пород — растворимость в воде.

Известняк — наиболее распространенная каменная порода на территории России, состоящая из одного минерала кальцита (CaCO_3).

При увеличении содержания глинистых примесей (более 30%) известняк переходит в мергель (рис. 3.7). Окраска известняков белая, серая. Известняк образует как мощные до десятков и даже сотен метров толщи, так и небольшие прослойки или тела неправильной формы. Находит весьма широкое применение в строительстве (облицовочные плиты, фундаментный камень, портландцемент, щебень, известь и др.).

Месторождения известняка известны в европейской части России, на Урале, в Сибири и в других районах.

Доломит — широко распространенная порода, состоящая из минерала доломита $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$. Обычно это мелко- и среднезернистая порода, желтовато-белого цвета, реже красноватого. Содержит примеси: кальцит, оксиды железа, гипс и др. Менее растворим в воде, чем известняк, и несколько тверже его. Применяется как строительный камень, а также для получения огнеупоров и магнезильного цемента.

Значительное развитие среди хемогенных пород имеют также породы-соли: **гипс** ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) — незначительной твердости мономинеральная порода белого или серого цвета, **ангидрит** (CaSO_4) —

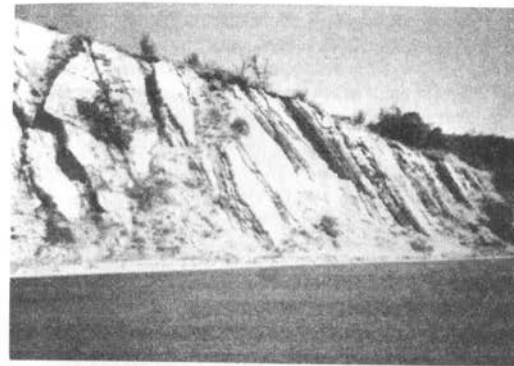


Рис. 3.7. Моноклиальное залегание слоев мергеля

обезвоженная разновидность гипса и **каменная соль**, состоящая из минерала галита. Породы-соли образуют значительные толщи, имеют монолитное строение и практически лишены трещин. Они широко развиты в Предуралье, Северном Прикаспии, Восточной Сибири и в других районах.

Характерная особенность этих пород — легкая растворимость в воде, что обуславливает развитие (как и в известняках) опасного для строительства геологического процесса — карста.

Органогенные (органические) породы

Образуются на дне глубоководных бассейнов в результате накопления и преобразования отмерших растительных и животных организмов. К органогенным породам относятся мел, известняк-ракушечник, диатомит, опока, трепел и другие породы.

Мел — белая слабосцементированная порода, состоящая из мельчайших частиц скелетов морских водорослей, одноклеточных животных и тонкозернистого кальцита. В сухом состоянии мел достаточно прочен, в водонасыщенном — становится мягким. Из-за большой

влажностности имеет малую морозостойкость. Распространен в бассейне Дона (рис. 3.8), в Среднем Поволжье и в других районах.

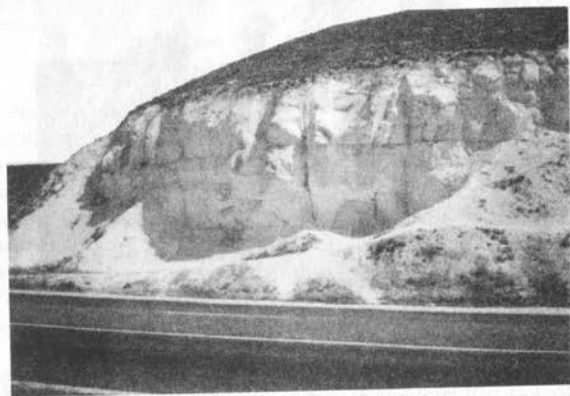


Рис. 3.8. Обнажение мела (север Ростовской области)

Известняк-ракушечник состоит из хорошо различимых раковин моллюсков или их обломков. От известняка хемогенного происхождения отличается более низкой плотностью и высокой пористостью. Большое влияние на его свойства оказывают вторичные изменения (окремнение, окварцование и др.). Широко распространен на побережьях южных морей, а также на Урале. Используется как стеновой камень и заполнитель легких бетонов.

Среди органиогенных пород большое развитие имеют также **кремнистые породы** (диатомит, трепел, опока), состоящие из мельчайших скелетов морских диатомовых водорослей, радиолярий и губок, либо из опала и халцедона с примесью глинистого материала и кварца. Кремнистые породы высокопористы, кислотоупорны, огнеупорны, отличаются большим водопоглощением. Находят широкое применение как теплоизоляционный материал, адсорбенты, гидравлические вяжущие и др. Распространены в Поволжье, вдоль восточного склона Уральского хребта, в Калужской и Смоленской областях и в других районах.

Осадочные горные породы в строительстве. Все многообразие осадочных горных пород (обломочных, хемогенных и органиогенных), весьма существенные различия в их составе, строении, условиях залегания исключает возможность однозначной оценки их строительных свойств. Наряду с неблагоприятными по своим свойствам осадочными породами — органоминеральными, засоленными, закарстованными, просадочными, набухающими и др., встречаются и очень прочные, структурно-устойчивые, которые могут служить надежным основанием для любых ответственных зданий и сооружений без применения специальных защитных мер (осадочные цементированные породы, ледниковые глины с включением валунов и др.).

Как и магматические, осадочные горные породы очень широко используются в качестве природных строительных материалов. В первую очередь это относится к рыхлым обломочным породам — супесям, суглинкам, глинам, пескам, крупнообломочным породам.

§ 4. Метаморфические горные породы

Происхождение. Метаморфические породы — это породы видоизмененные, «заново рожденные». Образуются они в глубинных зонах земной коры в процессе изменения (метаморфизма) магматических и осадочных горных пород под действием высокой температуры, давления и химически активных веществ (газов и паров), выделяющихся из магмы.

Преобразование пород может происходить разными путями: 1) на огромных площадях при погружении целых регионов земной коры в зоны высоких температур и давлений (региональный метаморфизм); 2) при контакте пород с раскаленными интрузивными телами (контактовый метаморфизм) и 3) под воздействием огромных давлений, возникающих в процессе горообразования (динамометаморфизм).

Горные породы могут видоизменяться также под воздействием высокотемпературных растворов, образующихся путем конденсации водяных паров магмы (гидротермальный метаморфизм).

Минеральный состав, структура и текстура. По минеральному составу (кварц, полевые шпаты, слюды, пироксен и др.) метаморфические породы близки к исходным породам. Но вместе с тем в них

образуется ряд минералов, характерных только для метаморфических пород: дистен, серицит, силлиманит, гранат и др.

Метаморфические породы имеют обычно полнокристаллическое строение. Важным диагностическим признаком метаморфических пород является их текстура — сланцеватая, полосчатая или массивная. Сланцеватая текстура характеризуется пластинчатой либо удлинённой формой зерен минералов, располагающихся взаимно параллельно. Для массивной текстуры типично равномерное пространственное расположение зерен без выраженной полосчатости, сланцеватости и т. д.

Формы залегания метаморфических пород в основном определяются формой тех исходных пород, из которых они образовались. В начальной стадии метаморфизма породы обычно сохраняют форму батолитов, штоков, покровов и др. (магматические породы), либо пластовую форму (осадочные породы). В дальнейшем форма исходных пород может нарушаться из-за разрывов, сдавливания и других проявлений метаморфизма.

Классификация метаморфических пород основана на структурно-минеральных признаках и минеральном составе. В связи с этим различают породы: 1) массивные (зернистые) — кварцит, мрамор и др.; 2) сланцеватые — гнейс и кристаллические сланцы.

Массивные (зернистые) метаморфические породы

Кварцит — исключительно твердая, очень прочная, но хрупкая зернистая порода, состоящая из кварца с небольшой примесью слюды, хлорита и других минералов. Образовалась в процессе динамометаморфизма кварцевого песчаника. Цвет преимущественно серый, от примесей — розоватый, желтоватый и черный. Кварцит кислотоупорный и щелочестойкий камень, морозостоек. Ценный облицовочный и строительный материал. Распространен в Карелии, на Урале и Алтае.

Мрамор — перекристаллизованный известняк, состоящий из одного минерала — кальцита. Цвет — белоснежный; с примесями — розовый, серый и даже черный. По крупности зерен выделяют

мелко-, средне- и крупнозернистый мрамор. Твердость небольшая, особенно у крупнозернистого мрамора. Мрамор сравнительно легко выветривается, легко поддается обработке (в отличие от кварцитов) и хорошо полируется. Весьма широко используется для облицовки внутренних стен зданий.

Сланцеватые метаморфические породы

Гнейс — сланцевато-кристаллическая порода, по минеральному составу близкая к гранитам (содержит кварц, полевые шпаты, слюды и др.). Отличается от гранитов полосчатой текстурой, вызванной чередованием светлых и темных минералов (слюд и роговой обманки). При ударе раскалывается по полосчатости (сланцеватости). Прочность гнейсов невелика. Их используют как щебень, бутовый и декоративный камень, реже облицовочный. В России гнейсы имеют широкое распространение (Урал, Алтай, Северный Кавказ и др.).

Кристаллический сланец — плотная, тонкосланцеватая порода, в зависимости от основного минерала может быть хлоритовым, слюдяным, тальковым, глинистым и др. Сланцеватость способствует быстрому их выветриванию, снижению морозостойкости. Наименьшей прочностью обладают глинистые сланцы, а наибольшей — кварцитовые (роговики). Широко используются как кровельный материал, бутовый камень, щебень и др. Месторождения кристаллических сланцев известны на Урале, Северном Кавказе и в Сибири (рис. 3.9). У подножья склонов в процессе выветривания часто образуют рыхлые осыпи, состоящие из щебня и дресвы.

Метаморфические горные породы в строительстве. Метаморфические породы, как и магматические, характеризуются жесткими кристаллизационными связями между отдельными частицами и поэтому являются надежным основанием для зданий и сооружений. Однако при оценке строительных свойств метаморфических пород следует учитывать их сланцеватость, трещиноватость и некоторые другие неблагоприятные свойства. Прочность пород оказывается значительно ниже вдоль сланцеватости, чем перпендикулярно к ней (анизотропия

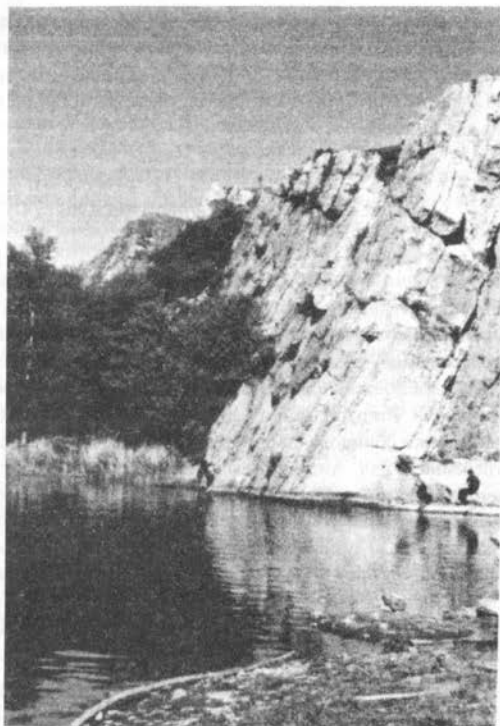


Рис. 3.9. Обнажение сланцеватых метаморфических пород

механических свойств). Кроме того, сланцеватость способствует быстрому выветриванию пород (особенно глинистых сланцев), увеличивает их трещиноватость и водопроницаемость, уменьшает морозостойкость. Некоторые метаморфические зернистые породы (например, мрамор) способны к растворению в воде.

§ 5. Выветривание горных пород и почвообразование

Выветривание — это процесс непрерывного изменения и разрушения горных пород под воздействием природных факторов выветривания: колебания температуры, химического воздействия воды и газов, растительных и животных организмов и др. Состав и строительные свойства горных пород существенно изменяются при выветривании.

Различают физическое, химическое и органическое выветривание. Обычно все три вида выветривания действуют одновременно, однако в зависимости от климатических и других условий тот или иной вид может преобладать.

Физическое выветривание выражается преимущественно механическим дроблением коренных пород на обломки без существенного изменения их химического состава. Основные факторы физического выветривания — колебания температур и связанные с ними процессы промерзания — оттаивания, увлажнения — высушивания пород и др. Кроме того, на интенсивность выветривания влияют также деятельность ветра (ударное воздействие песчинок и др.), роль которого резко возрастает в пустынных районах, и кристаллизация солей в порах и капиллярах.

В процессе физического выветривания горная порода распадается на глыбы, щебень, дресву, песок и пыль (алеврит). Образующиеся обломки сохраняют минеральный состав материнской породы.

Наиболее интенсивно физическое выветривание протекает в полярных и высокогорных областях (морозное выветривание), а также в пустынях, где наблюдается процесс чешуйчатого раздробления, так называемая десквамация пород.

Горные породы, состоящие из минералов с неодинаковыми коэффициентами объемного расширения — сжатия (гранит, гнейс и др.), разрушаются быстрее, чем мономинеральные породы. Особенно интенсивному выветриванию подвержены крупнозернистые и темно-окрашенные разности пород. Выветриванию способствуют также сланцеватость и в еще большей степени трещиноватость пород. В различных частях горных пород степень выветривания может быть различной, что приводит к причудливым очертаниям форм рельефа (рис. 3.10).



Рис. 3.10. Останец гнейсов в Сысертском районе на Среднем Урале (фото Г. А. Кейльмана)

Химическое выветривание приводит к изменению и разрушению горных пород, главным образом под действием воды, содержащей кислород, уголекислоту, кислоты и щелочи.

Основные химические процессы, приводящие к этим изменениям: гидратация, растворение, окисление и гидролиз. Нередко эти процессы протекают совместно.

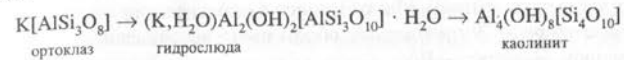
При гидратации происходит закрепление молекул воды на поверхности кристаллической структуры минерала. Так, ангидрит (CaSO_4) превращается в гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Гидратация сопровождается увеличением объема пород.

Окисление особенно интенсивно развивается в минералах, содержащих железо, — пирите (FeS_2), магнетите (Fe_2O_4) и др. Бурый или охристый цвет песков, песчаников и глин указывает на наличие в них железистых минералов, подвергающихся окислению.

Растворению в наибольшей степени подвержены каменная соль, гипс, ангидрит, в меньшей — известняки, доломиты и др.

Гидролиз, т. е. процесс разложения сложного вещества, протекает стадийно, с последовательным образованием новых минералов.

Так, при гидролизе полевых шпатов (ортоклаза и др.) возникают глинистые минералы — сначала гидрослюда, затем более устойчивый — каолинит.



Как и при физическом выветривании, огромное влияние на развитие процессов химического выветривания оказывают климатические условия. В совокупности воздействие различных видов выветривания приводит к формированию коры выветривания. В районах с влажным (гумидным) и жарким (тропическим) климатом мощность коры выветривания может достигать 30–60 м и более. В районах с нивальным (холодным), умеренно-влажным и аридным (сухим) климатом она не превышает 5–20 м.

При этом образуются различные зоны выветривания (рис. 3.11): монолитная (скрытотрещиноватая) — I, глыбовая — II, с трещинами выветривания, расчленяющими породу на отдельные глыбы,



Рис. 3.11. Схема строения кор выветривания в различных климатических зонах (по В. В. Ершову и др., 1986)

мелкообломочная — III и зона тонкого дробления (глинистая) — IV, непосредственно граничащая с атмосферой. В субтропиках и тропиках в условиях жаркого и влажного климата в верхней части геологического разреза образуется еще латеритная зона с подзонами красноземов — Va и плотных обломочных пород, напоминающих панцирь, — кирас — Vб.

Органическое выветривание проявляется повсеместно и связано с жизнедеятельностью растительных и животных организмов. Разрушение горных пород начинается с появления на их поверхности микроорганизмов (бактерий, грибов и др.), а также низших и высших растений (мхи, лишайники и др.). Подсчитано, что только микроорганизмов в выветрелых корочках горных пород содержится до 1 млн в 1 г вещества. Распадаясь, органическая масса образует органические кислоты (щавелевую и др.) и различные соединения, которые медленно и постепенно разрушают горные породы.

Горные породы разрушаются и более высокоорганизованными организмами — землероями, червями и др. Известен случай, когда после разрытия мышами поля аэродрома последний стал непригоден для эксплуатации. Горные породы могут разрушаться и под действием корней деревьев, которые проникают в трещины, увеличивают свой объем и разламывают породу.

Значение выветривания для практики строительства будет рассмотрено в главе 23, § 6 при характеристике специфических элювиальных грунтов, образующихся при выветривании.

Почвообразование. В самых верхних слоях горных пород совместно с выветриванием одновременно протекает почвообразовательный процесс. По В. В. Докучаеву (1886), **почвой** следует называть «верхние наружные горизонты горных пород, естественно измененные совместным влиянием воды, воздуха и различного рода организмов, живых и мертвых».

Коренное отличие почв от горных пород — наличие органической части, т. е. гумуса (или перегнойного вещества), который является главным элементом плодородия почв. Образование гумуса тесно связано с органическим выветриванием горных пород.

Почву можно рассматривать как самую верхнюю составную часть коры выветривания горных пород. Мощность почвенного покрова

по отношению ко всей коре выветривания невелика и, как правило, находится в пределах 1 м, реже достигая 2 м (черноземы).

В вертикальном разрезе почв выделяются четко выраженные генетические горизонты (сверху вниз): гумусовый (A_1), элювиальный (A_2) — горизонт вымывания, иллювиальный (B), в котором происходит накопление вынесенных из других горизонтов веществ, и мало затронутую почвообразованием материнскую породу (C).

Все указанные горизонты обладают весьма различными физико-механическими и химическими свойствами. По совокупности этих свойств и их особенностей определяют стадию почвообразовательного процесса, характер и направленность водного и теплового режима и т. д. Особенно важно учитывать эти данные при возведении земляного полотна в дорожном строительстве.

На территории нашей страны выделяют несколько типов почв, которые в зависимости от климата, рельефа, материнской горной породы и других природных факторов подразделяются на различные генетические типы. В направлении с севера на юг это: тундровые, подзолистые и дерново-подзолистые, серые, черноземные, каштановые, бурые, сероземные, солонцы, солончаки и др. В каждой растительно-климатической зоне развивается свой тип почв. Например, лесным зонам свойственны дерново-подзолистые, а степным — черноземные, каштановые и сероземные почвы.

Почвы не только «верхние наружные горизонты». В степных районах юга России в толще пылеватоглинистых суглинков помимо обычных почв выделяют также горизонты погребенных почв. От покровных почв они отличаются более высоким содержанием гумусовых веществ и более темной окраской.

Строительные свойства почв достаточно разнообразны. Так, например, подзолистые и дерново-подзолистые почвы супесчаного и песчаного состава благоприятны для устройства дорожного полотна. Использование же для этих целей засоленных почв без соблюдения особых технических условий недопустимо из-за значительного размокания и липкости. При строительстве зданий и сооружений из-за высокой рыхлости, пучинистости и размокаемости почвенный покров обычно удаляется либо полностью прорезается фундаментами.

Глава 4. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХРОНОЛОГИЯ

Геохронология — раздел геологии, который изучает возраст горных пород, слагающих земную кору, и хронологическую последовательность их образования. Геологическая история нашей планеты весьма длительна (~ 4,5 млрд лет) и датировать те или иные события ее развития можно лишь с помощью горных пород, детально изучая их состав, включения, строение и условия напластования.

Изучение геологического возраста в инженерной геологии имеет большое практическое значение. Во-первых, вся геологическая документация (инженерно-геологические карты, разрезы, колонки буровых скважин и др.) основана на возрастных геологических индексах; во-вторых, горные породы, близкие по составу и строению и имеющие одинаковый геологический возраст, обычно имеют сопоставимые строительные свойства; в-третьих, без знания геологического возраста невозможно достоверно установить условия залегания горных пород и закономерности их формирования.

§ 1. Относительный и абсолютный возраст горных пород

Относительный возраст основан на изучении взаимного расположения пластов, установлении, какой пласт «моложе» относительно другого и какой «древнее». Это можно сделать с помощью стратиграфического и палеонтологического методов.

Стратиграфический (от лат. «стратум» — слой) метод применяют при ненарушенном залегании пластов на сравнительно небольших участках. Сущность этого способа определения относительного возраста: слой, залегающий выше другого пласта, является по возрасту более молодым, чем тот, который залегает ниже по напластованию толщи пород.

Однако данный метод неприемлем при опрокинутых складках горных пород, разрывах со смещением пластов и т. д. Поэтому основным методом определения относительного возраста является палеонтологический. Основан он на изучении окаменелых

остатков животных и растений, живших в прошлые геологические эпохи и захороненных в осадочных горных породах.

Ученые уже давно установили, что органический мир в ходе геологической истории претерпел длительную и сложную эволюцию. На смену простым примитивным организмам приходили все более сложные. Поэтому логично предположить, что породы одного и того же возраста должны содержать одинаковые органические остатки (окаменелости), отличные от органических остатков другого возраста. Важное значение для определения относительного возраста имеют «руководящие окаменелости» — организмы, жившие сравнительно недолго, а затем вымершие (рис. 4.1). Например, для юрского периода — белемниты, для силура — морские лилии, для кембрия — трилобиты и т. д.



Рис. 4.1. Окаменелости пермского периода

Абсолютный возраст горных пород в отличие от относительного выражается в годах. Точное определение абсолютного возраста основано на изучении радиоактивного распада урана, калия, рубидия и других радиоактивных элементов, содержащихся в горной породе. Зная

количество радиоактивного элемента и накопившихся продуктов его распада, а также скорость радиоактивного процесса, можно вычислить абсолютный возраст радиоактивных минералов, а следовательно, и горной породы, которая их содержит.

Для определения абсолютного возраста горных пород в настоящее время используются различные радиологические методы: урано-свинцовый, калий-аргоновый, рубидиево-стронциевый, радиоуглеродный и др. С помощью этих методов был определен, например, абсолютный возраст древнейших гнейсов Кольского полуострова (3500 млн лет), еще более древних кристаллических сланцев Енисейского кряжа (4200 млн лет). Возраст древнейших пород Земли определяется цифрой 4500 ± 200 млн лет. Возраст горных пород Луны также оказался близким к 4500 млн лет.

§ 2. Геохронологическая шкала

В своем развитии планета Земля претерпела ряд последовательных этапов, установленных с помощью анализа ископаемых окаменелых организмов (относительный возраст) и данных радиологических и других методов (абсолютный возраст). На основании изучения возраста горных пород этими методами составлена новейшая геохронологическая шкала (табл. 4.1).

В геологической истории Земли выделено пять крупнейших разделов, называемых эрами: 1) **архейская** — эра начала жизни; 2) **протерозойская** — эра первичной жизни; 3) **палеозойская** — эра древней жизни; 4) **мезозойская** — эра средней жизни и 5) **кайнозойская** — эра новейшей жизни. Эры объединены в два зона.

Архейская и протерозойская эры (часто называемые вместе докембрием) объединяются в **криптозой** (на этот зон приходится почти 4 млрд лет, или 5/6 всего геологического летоисчисления). Это время зарождения жизни, появления примитивных одноклеточных организмов. Скелетная фауна полностью отсутствует.

Другие эры — палеозойская, мезозойская и кайнозойская — объединены в **фанерозой** (570 ± 30 млн лет). Фанерозой — важнейший этап геологической истории Земли, для которого характерны возник-

Таблица 4.1

Геохронологическая шкала

Эра (эоценома)	Эра (эратема)	Период (система)	Возраст, млн лет	Типичные организмы	Цвет на геологической карте		
Фанерозой	Кайнозойская КЗ	Четвертичный Q (антропогенный) { Голоцен (современный) Q ₄ Плейстоцен Q ₁ -Q ₃	1,6	Человек	Голубовато- и желтовато-серый		
			Третичный Tr	23,5	Млекопитающие, цветковые растения	Светло-желтый Темно-желтый	
				65			
		Мезозойская МЗ	Палеозойская ПЗ	Меловой К Юрский J Триасовый T Пермский P Каменноугольный C Девонский D Силурийский S Ордовикский O Кембрийский C	144	Цветковые растения, динозавры, птицы и млекопитающие	Зеленый Синий Фиолетовый
					203		
					250		
					295 355 410	Амфибии, споровые, рыбы, летающие насекомые	Оранжевый Серый Коричневый
					435 500 570	Первые беспозвоночные	Серо-зеленый Оливковый Сине-зеленый (темный)
		Протерозойская ПР	Архейская АР	—	2600	Примитивные одноклеточные организмы	Розовый
					До 4500	—	Темно-розовый
Свыше 45000	—						

Криптозой (эоценома)

новение и широкое развитие скелетных организмов, расцвет органического мира и появление человека.

Как видно из геохронологической шкалы, эры подразделяются на периоды. Например, в кайнозойской эре выделяют третичный и четвертичный периоды. Периоды делятся на еще более мелкие геохронологические единицы: эпохи и века. Например, девонский период (D) подразделяется на три эпохи: раннюю — D₁, среднюю — D₂ и позднюю — D₃.

Для обозначения геологических образований — горных пород, отлагавшихся в течение всех указанных выше отрезков времени, вместо геохронологических используют другие термины — стратиграфические (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Геохронологические и стратиграфические термины

Термины	
Геохронологические	Стратиграфические
Эон	Эонотема
Эра	Эратема (группа)
Период	Система
Эпоха	Отдел
Век	Ярус

Четвертичный период (система) соответствует последнему отрезку геологической истории Земли, который продолжается и поныне. Это означает, что сейчас идет четвертичный период кайнозойской эры. Четвертичные отложения подразделяют на нижнечетвертичные — Q₁, среднечетвертичные — Q₂, верхнечетвертичные — Q₃ и современные Q₄. Различают также плейстоценовые (Q₁—Q₃) и голоценовые отложения (Q₄). Длительность четвертичного периода по разным источникам оценивается от 0,7 до 4,0 млн лет, наиболее часто — 1,6 млн лет.

С четвертичным периодом связана история возникновения и развития человека и начало его производственной деятельности. От всех предшествующих периодов он отличается глобальными колебаниями климата и развитием материковых оледенений, особенно в Северном полушарии. Характерны также мощные тектонические движения земной коры и вулканизм. В сравнении с породами дочетвертичного

возраста (третичными, мезозойскими и др.), которые в строительной практике нередко называют «коренными», четвертичные отложения отличаются меньшей плотностью и большей рыхлостью.

Глава 5. ТЕКТНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Тектоническими называют движения земной коры, связанные с внутренними силами в земной коре и мантии Земли. Отрасль геологии, которая изучает эти движения, а также современное строение и развитие структурных элементов земной коры называется **тектоникой**.

§ 1. Понятие об основных тектонических структурах земной коры

Крупнейшими структурными элементами земной коры являются платформы, геосинклинали и океанические плиты.

Платформы — огромные относительно неподвижные, устойчивые участки земной коры. Для платформ характерно двухъярусное строение. Нижний, более древний ярус (кристаллический фундамент) сложен осадочными породами, смятыми в складки, либо магматическими породами, подвергнутыми метаморфизму. Верхний ярус (платформенный чехол) почти целиком состоит из горизонтально залегающих осадочных горных пород.

Классическими примерами платформенных областей являются Восточно-Европейская (Русская) платформа, Западно-Сибирская, Туранская и Сибирская, занимающие огромные пространства. В мире известны также Северо-Африканская, Индийская и другие платформы.

Мощность верхнего яруса платформ достигает 1,5–2,0 км и более. Участки земной коры, где верхний ярус отсутствует и кристаллический фундамент выходит непосредственно на дневную поверхность, называют **щитами** (Балтийский, Воронежский, Украинский и др.).

В пределах платформ тектонические движения выражаются в виде медленных вертикальных колебательных движений земной коры. Слабо развиты или совсем отсутствуют вулканизм и сейсмические движения (землетрясения). Рельеф платформ имеет тесную связь с глубинным строением земной коры и выражен главным образом в виде обширных равнин (низменностей).

Геосинклинали — наиболее подвижные, линейно вытянутые участки земной коры, обрамляющие платформы. На ранних стадиях своего развития они характеризуются интенсивными погружениями, а на заключительных — интенсивными поднятиями.

Геосинклинальные области — это Альпы, Карпаты, Крым, Кавказ, Памир, Гималаи, полоса Тихоокеанского побережья и другие горно-складчатые сооружения. Для всех этих областей характерны активные тектонические движения, высокая сейсмичность и вулканизм. В этих же областях активно развиваются мощные магматические процессы с образованием эффузивных лавовых покровов и потоков и интрузивных тел (штоков и др.). В Северной Евразии наиболее подвижным и сейсмически активным регионом является Курило-Камчатская зона.

Кроме платформ и геосинклиналей к крупнейшим тектоническим структурам земной коры относятся также огромные **океанические плиты**, составляющие основу дна океанов. В отличие от континентов океанические плиты изучены недостаточно, что связано со значительными трудностями получения геологической информации об их строении и составе вещества.

§ 2. Типы тектонических движений

Различают следующие главнейшие типы тектонических движений земной коры: 1) колебательные; 2) складчатые и 3) разрывные.

Колебательные тектонические движения проявляются в виде медленных неравномерных поднятий и опусканий отдельных участков земной коры. Колебательный характер их движения заключается в изменении его знака: поднятие в одни геологические эпохи сменяется опусканием в другие. Тектонические движения этого типа происходят непрерывно и повсеместно. На земной поверхности нет тектонически

неподвижных участков земной коры — одни поднимаются, другие опускаются.

По времени их проявления колебательные движения подразделяются на современные (последние 5–7 тыс. лет), новейшие (неоген и четвертичный период) и движения прошлых геологических периодов.

Современные колебательные движения изучают на специальных полигонах с помощью повторных геодезических наблюдений методом высокоточного нивелирования. О более древних колебательных движениях судят по чередованию морских и континентальных отложений и по ряду других признаков.

Скорость поднятия (или опускания) отдельных участков земной коры варьирует в широких пределах и может достигать 10–20 мм/год и более. Например, южное побережье Северного моря в Голландии опускается на 5–7 мм в год. От вторжения моря на сушу (трансгрессии) Голландию спасают дамбы (высотой до 15 м и более), которые постоянно надстраиваются. В то же время на близко расположенных участках в Северной Швеции в прибрежной зоне отмечаются современные поднятия земной коры до 10–12 мм/год. В этих районах часть портовых сооружений оказалась удаленной от моря вследствие его отступления от берегов (регрессии).

Геодезические наблюдения, проведенные в районах Черного, Каспийского и Азовского морей, показали, что Прикаспийская низменность, восточный берег Азовского моря, впадины в устьях рек Терек и Кубани, северо-западный берег Черного моря опускаются со скоростью 2–4 мм/год. Как следствие, в этих районах отмечается трансгрессия, т. е. наступление моря на сушу. Наоборот, медленные поднятия испытывают участки суши на побережье Балтийского моря, а также, например, районы Курска (3,6 мм/год), горные районы Алтая, Саян, Новая Земля и др. Другие участки продолжают погружаться — Москва (3,7 мм/год), Санкт-Петербург (3,6 мм/год) и т. д.

Наибольшая интенсивность колебательных движений земной коры отмечается в геосинклинальных областях, а наименьшая — в платформенных областях.

Геологическое значение колебательных движений огромно. Они определяют условия осадконакопления, положение границ между сушей и морем, обмеление или усиление размывающей деятельности

ти рек и т. д. Колебательные движения, происходившие в новейшее время (неоген — четвертичный период), оказали решающее влияние на формирование современного рельефа Земли.

Колебательные (современные) движения необходимо учитывать при строительстве гидротехнических сооружений типа водохранилищ, плотин, судоходных каналов, городов у моря и т. д.

Складчатые тектонические движения. В геосинклинальных областях тектонические движения могут существенно нарушать первоначальную форму залегания горных пород. Нарушения форм первичного залегания горных пород, вызванные тектоническими движениями земной коры, называют **дислокациями**. Их подразделяют на складчатые и разрывные. Складчатые дислокации могут быть в форме вытянутых линейных складок (антиклиналь, синклиналь) или выражаться в общем наклоне слоев в одну сторону (моноклиналь) (рис. 5.1).

Антиклиналь — вытянутая линейная складка, обращенная выпуклостью вверх. В ядре (центре) антиклинали залегают более древние слои, на крыльях складки — более молодые.

Синклиналь — складка, аналогичная антиклинали, но направленная выпуклостью вниз. В ядре синклинали залегают более молодые, чем на крыльях. Самая простая форма складчатых дислокаций — **моноклиналь**, представляющая собой толщу слоев горных пород, наклоненных в одну сторону под одинаковым углом (рис. 5.1). Различают также **флексуру** — коленообразную складку со ступенчатым изгибом слоев.

Ориентировку слоев при моноклиальном залегании характеризуют с помощью линии простирания, линии падения и угла падения (рис. 5.2).

Разрывные тектонические движения приводят к нарушению сплошности горных пород и разрыву их по какой-либо поверхности. Разрывы в горных породах возникают в тех случаях, когда напряжения в земной коре превышают предел прочности горных пород.

К разрывным дислокациям относят сбросы, взбросы, надвиги, сдвиги, грабени и горсты.

Сброс образуется в результате опускания (рис. 5.3, а), а **взброс** — поднятия одной части толщи относительно другой (рис. 5.3, в). **Надвиг** — смещение блоков горных пород по наклонной поверхности

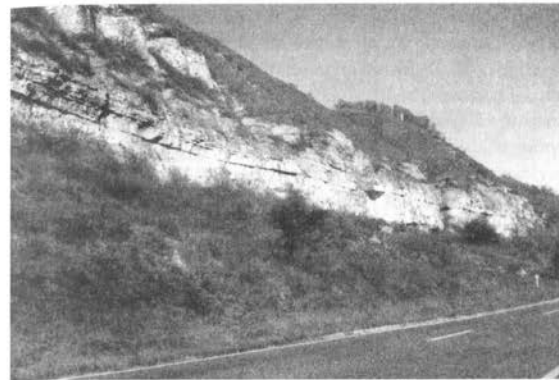


Рис. 5.1. Моноклиальное залегание слоев (Черноморское побережье Кавказа)

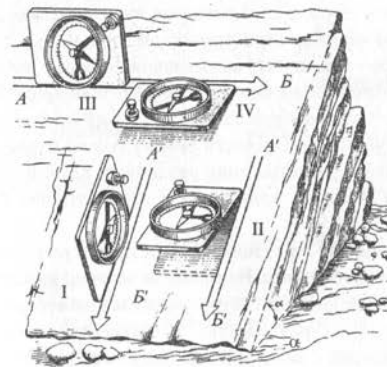


Рис. 5.2. Элементы залегания слоя (пласта) и их измерение с помощью компаса:

AB — линия простирания; $A'B'$ — линия падения; α — угол падения; I — определение угла падения; II — определение азимута падения; III — нахождение линии простирания; IV — определение азимута простирания

разлома (рис. 5.3, *а*), а сдвиг — в горизонтальном направлении. Примером сложных разрывных дислокаций может быть ступенчатый сброс, т. е. система параллельных сбросов (рис. 5.3, *б*). **Грабен** — участок земной коры, ограниченный тектоническими разрывами (сбросами) и опущенный по ним относительно смежных участков (рис. 5.3, *д*). Примером крупных грабенов могут служить впадина озера Байкал (глубина 1620 м) и долина р. Рейн. **Горст** — приподнятый участок земной коры, ограниченный сбросами или взбросами (рис. 5.3, *е*).

Разрывные тектонические движения часто сопровождаются образованием различных тектонических трещин, для которых характерны захват ими мощных толщ горных пород, выдержанность ориентировки, наличие следов смещений и другие признаки. Особым типом разрывных тектонических нарушений являются **глубинные разломы**, разделяющие земную кору на отдельные крупные блоки. Глубинные разломы имеют протяженность в сотни и тысячи километров и глубину более 300 км. К зонам их развития приурочены современные интенсивные землетрясения и активная вулканическая деятельность (например, разломы Курило-Камчатской зоны и др.).

Тектонические движения, вызывающие формирование складок и разрывов, называются **орогеническими** или **горообразовательными**.

Значение тектонических условий для строительства. Тектонические особенности района весьма существенно влияют на выбор места расположения различных зданий и сооружений, их компоновку, условия возведения и эксплуатацию строительных объектов.

Благоприятны для строительства участки с горизонтальным ненарушенным залеганием слоев. Наличие дислокаций и развитой системы тектонических трещин существенно ухудшает инженерно-геологические условия района строительства. В частности, при строительном освоении территорий с активной тектонической деятельностью необходимо учитывать интенсивную трещиноватость и раздробленность горных пород, которая снижает их прочность и устойчивость, усиленную циркуляцию подземных вод по зонам тектонических трещин и разрывов, резкое повышение сейсмической активности в местах развития разрывных дислокаций и другие особенности.

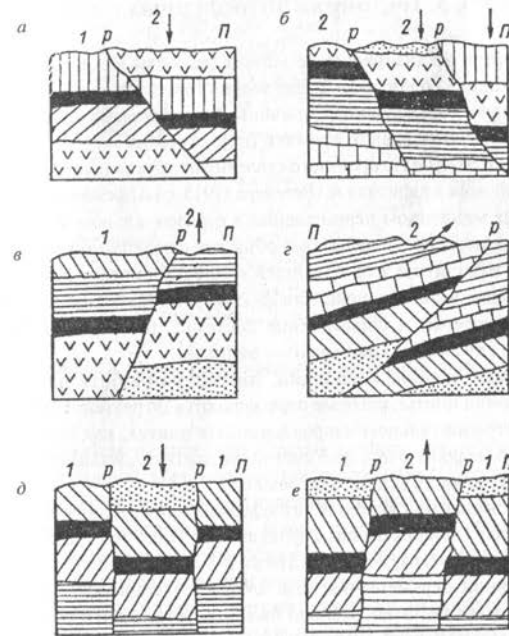


Рис. 5.3. Разрывные дислокации:

а — сброс; *б* — ступенчатый сброс; *в* — взброс; *г* — надвиг; *д* — грабен; *е* — горст; 1 — неподвижная часть толщи; 2 — смещенная часть; П — поверхность Земли; *р* — разрыв

Интенсивность колебательных движений земной коры обязательно учитывают при строительстве защитных дамб, а также линейных сооружений значительной протяженности (каналов, железных дорог и пр.).

§ 3. Тектоника литосферных плит

Несмотря на значительные успехи геологии как науки и ее раздела тектоники, общепризнанная теория геотектонического развития земной коры, объясняющая причины тектонических движений или тектогенеза, до недавнего времени отсутствовала.

Лишь в 50–60-е гг. прошлого столетия получила признание гипотеза австрийского геофизика А. Вегенера (1915 г.) о дрейфе континентов, т. е. об их медленном перемещении в горизонтальном направлении. Механизм этих перемещений был объяснен с позиции **тектоники плит**. Толчком к развитию этой новейшей концепции послужили открытие астеносферы (вязкой и «податливой» оболочки Земли, расположенной ниже литосферы) и обнаружение системы срединно-океанических хребтов с глубокими ущельями — рифтами.

Согласно данной концепции, литосфера разбита на огромные сегменты или плиты, которые перемещаются по размягченной астеносфере в горизонтальном направлении. На плитах, как на гигантских плотах, со скоростью от 1 до 3 см/год (по другим данным до 10 см/год) плавают континенты и океаны Земли.

Всего выделено 7 крупных литосферных плит толщиной 75–125 км: Евразийская, Американская, Африканская, Индо-Австралийская, Тихоокеанская, Антарктическая и Наска и 8 малых плит (рис. 5.4).

Причиной перемещения плит считается конвективный перенос вещества мантии. Относительно более нагретая мантия, поднимаясь к поверхности, подвергается плавлению в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов, обнаруженных во всех океанах и имеющих огромную протяженность.

За счет вещества, поднимающегося из мантии, происходит наращивание литосферных плит, и они расходятся в стороны (спрединг). Другим видом перемещения плит может быть субдукция, когда океаническая плита пододвигается под континентальную и поглощается мантией. Например, в районе Японской островной дуги Тихоокеанская плита пододвигается под Евразийскую.

При столкновении плит между собой они сминаются в складки и образуют горно-складчатые системы (Альпы, Памир, Гималаи и др.). При этом край одной плиты может пододвигаться под другую,



Рис. 5.4. Схема расположения литосферных плит

вызывая огромные напряжения и резко активизируя сейсмические процессы. В земной коре образуются также очаги расплавленной магмы, которые сопровождаются явлениями вулканизма. Процессами перемещения литосферных плит, точнее их субдукции, объясняется, например, исключительно высокая сейсмическая и вулканическая активность в Тихоокеанском огненном поясе.

По мнению одних ученых, теория тектоники литосферных плит, имеющая глобальный характер и касающаяся всех районов земного шара, позволяет объяснить природу тектонических движений, историю их развития, а также геологическое и тектоническое строение земной коры. Другие ученые считают, что «новая глобальная тектоника плит» не в состоянии объяснить многие проблемы формирования и развития земной коры и не может претендовать на роль универсальной тектонической теории. Очевидно, необходимы дальнейшие исследования, основанные на последних достижениях геологических и других наук.

Глава 6. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ И РАЗРЕЗЫ

Геологическая карта — основной и весьма важный документ в геологии, который отражает геологическое строение местности, характеризует распространение и условия залегания горных пород, их мощность, литологический состав и возраст. Геологические карты составляют в процессе проведения геологической съемки с использованием естественных выходов горных пород — обнажений, а также буровых скважин, данных геофизических исследований и др. Их строят на готовой топографической основе (топографические карты составляют геодезисты при проведении инженерно-геодезических изысканий) с использованием аэро- и космоснимков.

Для того чтобы уметь читать составленную геологическую карту, необходимо знать основные принципы геологического картирования, т. е. методы составления геологических карт и разрезов.

Геологическая карта представляет собой проекцию геологических границ слоев горных пород на горизонтальную плоскость. Карты могут составляться с использованием стратиграфического принципа, при котором на них изображаются только границы распространения различных возрастных комплексов горных пород. Такие карты называются геолого-стратиграфическими.

Однако для различных прикладных целей не менее важны, кроме возраста, также и другие сведения, например, о литологическом составе пород. Так, для геологического обоснования строительства, наряду с другими картами, часто используются литолого-стратиграфические карты. На картах этого типа отражаются не только распространение различных типов горных пород и их возраст, но и литологический состав (известняки, пески, глины и др.) (рис. 6.1 по Б. М. Гуменскому). Кроме того, на геологических картах иногда с помощью особых знаков и линий изображают элементы залегания осадочных пород и места разрывных тектонических нарушений.

Масштабы и виды геологических карт. Геологические карты в зависимости от назначения составляют в различных масштабах. Их подразделяют на обзорные (масштаб 1:1 000 000 и мельче), региональные (1:500 000–1:200 000), детальные (1:100 000–1:50 000) и специальные (1:25 000 и крупнее). Понятно, что детальность и точность изображения объектов возрастают с увеличением масштаба карты.

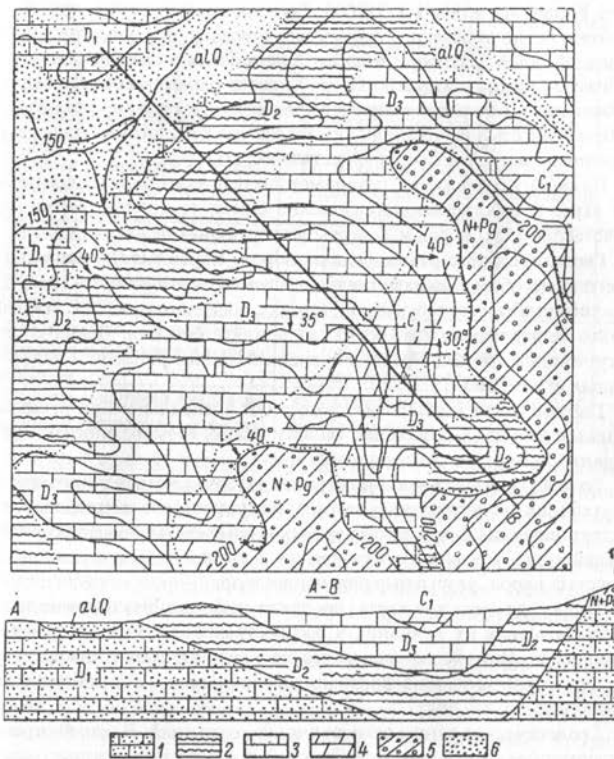


Рис. 6.1. Геологическая карта и разрез по линии А—В:
1 — нижний девон, песчаники; 2 — средний девон, аргиллиты; 3 — верхний девон, известняки; 4 — нижний карбон, мергели; 5 — неоген-палеогеновые конгломераты; 6 — четвертичные аллювиальные пески

Обзорные геологические карты характеризуют обширные пространства (стран, материков и всего земного шара) и отражают лишь самые общие черты геологического строения, как, например, геологическая

карта России масштаба 1:1 000 000. Региональные геологические карты более полно отражают геологическое строение отдельных регионов (краев, областей, платформ и др.). На детальных и специальных геологических картах показываются особенности геологического строения относительно небольших районов и участков. Эти карты представляют особую ценность для строительства, так как дают геологическую основу территории застройки с большой детальностью.

По своему содержанию различают два основных вида геологических карт: 1) собственно геологические карты, т. е. карты коренных (дочетвертичных) пород и 2) карты четвертичных отложений.

Геологические карты коренных пород. Коренные (дочетвертичные) породы обычно залегают под покровом четвертичных отложений. Для того чтобы на геологических картах с поверхности не показывать только четвертичные отложения, их принято снимать. Исключение могут составлять лишь районы с очень мощным развитием четвертичных отложений.

Геологические карты в зависимости от специального назначения подразделяются на собственно геологические, геоморфологические, гидрогеологические, тектонические и др.

Геоморфологические карты отражают формы земной поверхности (рельеф), их происхождение, возраст, географическое распределение. На тектонических картах показывают основные структурные элементы земной коры, условия их образования, а также элементы залегания слоистых пород, разрывные нарушения и др.

Гидрогеологические карты содержат информацию о подземных водах, условиях их залегания и распространения, химизме и водообильности. Инженерно-геологические карты отражают инженерно-геологические условия территории предполагаемого строительства (подробнее см. гл. 36).

Геологические карты четвертичных отложений. В нашей стране четвертичные отложения имеют почти повсеместное распространение, отсутствуя лишь на крутых горных склонах. Значение их для строительства огромно, так как породы этого возраста наиболее часто служат основанием различных инженерных сооружений и широко используются как строительный материал.

На геологических картах четвертичных отложений выделяют различные генетические типы пород (ледниковые, озерные, речные и др.), которые обозначаются буквенными индексами (табл. 6.1). Например, индекс IQ₁ означает озерные нижнечетвертичные отложения.

Таблица 6.1

Генетические типы четвертичных отложений

Тип отложений	Индекс	Тип отложений	Индекс
Аллювиальные (речные отложения)	a	Морские (отложения берегов морских бассейнов)	m
Озерные (отложения озерных котловин)	l	Ледниковые (гляциальные) — отложения неотсортированного обломочного материала	g
Делювиальные (отложения дождевых и талых вод на склонах и у подножья возвышенностей)	d	Флювиогляциальные (водноледниковые) — отложения талых ледниковых вод	f
Пролувиальные (отложения временных водотоков в горных районах)	p	Элювиальные (рыхлые продукты выветривания, оставшиеся на месте образования)	e
Аллювиально-пролувиальные	ap	Элювиально-делювиальные	ed
Эоловые (ветровые отложения)	eo	Техногенные	T

Геологические разрезы (профили). Необходимым дополнением к геологическим картам служат разрезы (профили), которые представляют собой графическое отображение на вертикальной плоскости особенностей геологического строения по тому или иному заданному направлению (см. рис. 6.1). Основой для построения геологических разрезов служат геологическая карта, геологоразведочные выработки (скважины, шурфы и др.), данные геофизических исследований и др.

Для общей характеристики геологического строения местности разрезы обычно составляются по направлениям вкост простирания пород, т. е. по направлению падения слоев. Чтобы построить геологический разрез по определенной линии, необходимо знать профиль поверхности земли. Для этих целей используется топографическая карта. Горизонтальный масштаб разреза должен соответствовать масштабу геологической карты, а вертикальный может превышать горизонтальный в несколько раз.

При относительно небольших площадях и спокойном рельефе геологическое строение участка для большей наглядности иногда выстраивают в аксонометрической проекции. В этом случае геологический разрез, совмещенный с фотоснимком и зарисовкой рельефа, называют **блок-диаграммой**.

Глава 7. ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОМОРФОЛОГИИ

§ 1. Общие сведения о геоморфологии

Геоморфология — это геолого-географическая наука о формах земной поверхности. Объектом ее изучения является рельеф, его происхождение, возраст, внешний облик, история развития и закономерности географического распространения.

Под **рельефом** понимают совокупность всех неровностей суши, дна океанов и морей. Формирование рельефа связывают с длительным воздействием на земную поверхность эндо- и экзогенных геологических процессов (сейсмических, вулканических, эрозионных, ветровых и др.). Немаловажна роль и техногенных факторов (инженерно-строительных, горно-эксплуатационных и др.).

Геоморфология включает в себя несколько разделов: структурную геоморфологию, которая изучает связи рельефа с геологическим строением и тектоническими структурами, динамическую геоморфологию, посвященную изучению рельефообразующих процессов, климатическую геоморфологию — изучение влияния климата на развитие рельефа, палеогеоморфологию — о рельефе прошлых геологических эпох и др.

Как самостоятельная область знания геоморфология оформилась в конце XIX — начале XX в. Значительный вклад в ее становление и развитие внесли П. А. Кропоткин, И. В. Мушкетов, И. С. Щукин, И. П. Герасимов, Я. С. Эдельштейн, К. К. Марков и другие российские ученые.

Геоморфология имеет не только большое теоретическое, но и практическое значение. Как один из компонентов геологической среды рельеф оказывает огромное влияние на инженерно-геологические условия района строительства. При проектировании и строительстве любых инженерных сооружений, в особенности таких, как значительной протяженности автомобильные и железные дороги, плотины, судоходные каналы и т. д., геоморфологические особенности территории предполагаемого строительства требуют детального изучения.

§ 2. Происхождение форм рельефа

Рельеф, как уже отмечалось выше, представляет собой совокупность форм земной поверхности, различных по происхождению, размерам и строению.

В зависимости от преобладания наиболее активного фактора рельефообразования в данных природных условиях формируются эндогенные или экзогенные формы рельефа.

Эндогенный рельеф, т. е. рельеф, связанный с внутренними силами Земли, включает:

- структурно-тектонические формы рельефа (материки, впадины океанов, горные хребты и горы, плато, грабены, горсты и др.);
- вулканические формы рельефа (вулканы, кратеры, кальдеры, лавовые покровы и потоки, грязевые вулканы и др.).

Любая форма эндогенного рельефа постоянно испытывает на себе влияние экзогенных (внешних) сил. Экзогенные (внешние) силы, обусловленные энергией солнечного излучения, гравитационной силой, жизнедеятельностью организмов и техногенной деятельностью человека, сами создают весьма разнообразные формы рельефа, называемые **экзогенными**. В сочетании с эндогенными процессами они и формируют рельеф Земли.

Различают следующие виды и формы экзогенного рельефа:

- **флювиальный** — обусловленный деятельностью поверхностных текущих вод (рытвины, промоины, овраги, балки, речные долины, поймы, террасы, дельты, теснины, каньоны, ущелья и др.);
- **гравитационный**, связанный с действием силы тяжести на склонах (оползни, обвалы, осыпи, оползневые цирки и др.);
- **ледниковый и нивальный**, обусловленный деятельностью льда и снега (горные ледники, фирновые мульды, трог, снежные лавины, «бараньи лбы» и др.);
- **флювио-гляциальный** (водно-ледниковый), связанный с отложениями, образованными потоками талых ледниковых вод (морены, озы, зандры, камы, друмлины и др.);
- **рельеф береговой зоны морей и озер** (косы, фиорды, лагуны, томболо, валы и др.);
- **суффозионно-карстовый**, обусловленный развитием процессов суффозии и карста (провальные воронки, котловины, поля, пещеры, гроты, суффозионные воронки, карры и др.);

- **криогенный**, развитый в районах многолетней мерзлоты (наледы речные и грунтовые, аласы, бугры пучения, термокарстовые воронки, солифлюкционные ложбины и др.);
- **эоловый (ветровой)** — барханы, дюны, останцы, котловины выдувания, песчаные гряды, барханные цепи и др.;
- **биоогенный**, обусловленный деятельностью животных и растений (коралловые рифы, атоллы, термитники, торфяные бугры и др.);
- **антропогенный (техногенный)** рельеф, созданный в процессе производственной и хозяйственной деятельности человека (насыпи, выемки, курганы — искусственные холмы, терриконы — отвалы шахтных пород, чаши водохранилищ и др.).

Перечисленные выше виды и формы рельефа подробнее будут рассмотрены в разделе IV «Инженерная геодинамика».

По характеру образования все экзогенные формы рельефа делят на эрозионные и аккумулятивные. К **эрозионным** относят формы рельефа, образованные в результате разрушения горных пород, постоянным или временным водным потоком (речные долины, овраги и др.), выдуванием песчаных частиц (котловины выдувания, останцы) и др.

Аккумулятивные формы рельефа образуются при накоплении продуктов разрушения горных пород водным, ветровым или другими способами (поймы, речные террасы, барханы, дюны и др.).

§ 3. Морфология и морфометрия рельефа

Рельеф любого участка местности складывается из отдельных форм, различных по своему внешнему виду (морфологии) и размерам (морфометрии). На топографических картах морфологические и морфометрические особенности рельефа выражают с помощью горизонталей, т. е. линий, соединяющих точки местности с одной и той же высотой относительно уровня моря. В зависимости от масштаба карт сечение горизонталей, т. е. разность высот смежных горизонталей, может колебаться от 1 до 10 м и более. С помощью горизонталей судят об очертаниях форм рельефа, крутизне их склонов и высоте.

Формы рельефа состоят из простейших составных частей (элементов): **граней** — поверхностей склонов, **ребер** — линий сочленения

граней, линий водоразделов, тальвегов, изгибов и бровок и **точек**, характеризующих места пересечения линий (вершины, перевалы и седловины, впадины) (рис. 7.1).

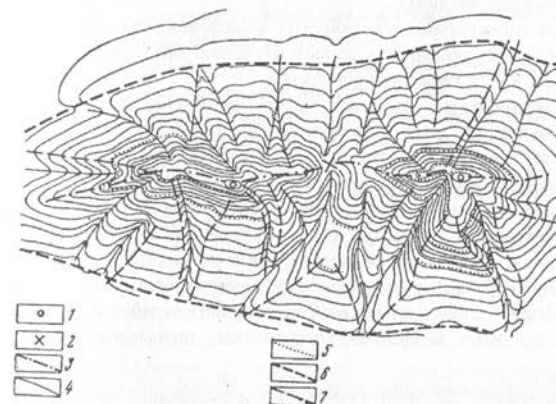


Рис. 7.1. Основные элементы рельефа (по Ю.К. Ефремову):

1 — вершины; 2 — седловины (перевал); 3 — линии водоразделов; 4 — линии тальвегов; 5 — линии бровок; 6 — линии подошвы скатов; 7 — ребра

По внешним (морфологическим признакам) все формы рельефа подразделяются на положительные и отрицательные, замкнутые и незамкнутые, сложные и простые.

К **положительным** (выпуклым по отношению к горизонту) относят горные хребты, горы, холмы и др., к **отрицательным** (вогнутым) — речные долины, овраги, котловины и др.

Замкнутые формы рельефа ограничены со всех сторон склонами (холмы, горы, воронки и др.). **Незамкнутые** формы лишены склонов с одной или с двух сторон (овраг, конус выноса и др.).

Простые формы рельефа включают только одну форму, в отличие от **сложных**, состоящих из ряда простых форм (например, горный хребет, овраг с отвершками и др.).

Согласно морфометрической классификации все формы рельефа в зависимости от их размеров делят на различные группы от мельчайших (знаки ряби на речном песке) до величайших (материки и океанические впадины).

При инженерно-геологических изысканиях для строительства значительное внимание уделяют изучению особенностей макро- и мезорельефа, а также микрорельефа.

Макрорельеф — крупные (макро-) формы рельефа, горизонтальные размеры которых достигают сотен и тысяч квадратных километров, а вертикальные — десятков, сотен и даже тысяч метров (горные хребты, речные долины, впадины и др.).

В зависимости от высоты над уровнем моря и относительной высоты отдельных элементов форм рельефа, макрорельеф делится на следующие типы: горный, холмистый и равнинный.

Горный рельеф представляет собой чередование горных хребтов, гор, плоскогорий, сопок и других возвышенностей с отрицательными формами — долинами, впадинами, котловинами, ущельями и др. (рис. 7.2).



Рис. 7.2. Горный рельеф (Кавказ)

По внешнему виду, высоте, глубине расчленения и крутизне склона горы делятся на три типа: низкие горы с абсолютными высотами от 200 до 800 м, средневысотные — 800–2000 м и высокие — более 2000 м. Для низких гор характерны округлые формы рельефа (Северный Урал,

Карелия и др.), средневысотных — как округлые, так и угловатые, иногда с остроконечными вершинами (Полярный Урал, Кольский полуостров и др.). Высокие горы имеют узкие гребни, вершины которых поднимаются выше снеговой линии (Большой Кавказ, центральная часть Алтая и др.). Для высоких гор характерны снежные лавины, обвалы, селевые потоки и другие природные геологические процессы.

Холмистый рельеф — это переходный тип между горным и равнинным рельефом. Характерен для ледниковых областей и представляет собой чередование холмов (куполообразных возвышенностей с относительной высотой до 200 м) и пониженных участков — котловин, небольших долин, балок и др.

Равнинный рельеф типичен для обширных участков суши с небольшими колебаниями высот (не более 200 м) и преимущественно плавными переходами от повышений к понижениям (рис. 7.3).



Рис. 7.3. Равнинный рельеф (Нижний Дон)

Равнины суши по отношению к уровню моря подразделяют на: 1) отрицательные, расположенные ниже уровня моря (депрессии, впадины); 2) низменности, имеющие абсолютные отметки поверхности до 200 м; 3) возвышенности — с отметками 200–500 м и 4) нагорья, расположенные выше 500 м над уровнем моря.

Формирование равнинного рельефа происходит под влиянием медленных колебательных движений земной коры и последующего нивели-

рования поверхности земли. Выравнивание (нивелирование) поверхности происходит при выветривании (разрушении) положительных форм рельефа, переносе продуктов выветривания водой, ветром, силой гравитации, льдом и др. в пониженные участки и заполнения ими отрицательных форм рельефа (аккумуляция). Совокупность процессов разрушения (выветривания) горных пород и их переноса в пониженные участки рельефа называется денудацией (от лат. *denudatio* — обнажение).

В соответствии с условиями образования различают денудационные равнины, аккумулятивные (аллювиальные, морские, озерные, ледниковые и др.), структурные, обусловленные горизонтальным залеганием осадочных или магматических пород, предгорные наклонные и другие типы равнин.

Мезорельеф — средние по величине формы рельефа, амплитуда высот которых не превышает нескольких десятков метров. К этому типу рельефа относятся холмы, курганы, долины малых рек, балки, овраги, ложбины и др.

Микрорельеф — это мелкие формы рельефа размерами до нескольких метров, которые могут быть показаны лишь на картах масштаба 1:10 000 и крупнее. К микрорельефу относят небольшие карстовые воронки, промоины, прирусловые валы, мелкие барханы, конуса выноса оврагов и др. Микрорельеф на территории проектируемого строительства требует внимательного изучения, так как позволяет, в частности, выявить взаимосвязь между его развитием и такими неблагоприятными для строительства геологическими процессами, как карст, суффозия, просадочность и др.

§ 4. Значение геоморфологии в инженерной геологии

Геоморфологические наблюдения являются необходимой составной частью инженерно-геологических изысканий для строительства. В частности, при составлении инженерно-геологических карт территории проектируемого строительства важным вспомогательным материалом служат геоморфологические карты, разрезы и схемы.

Геоморфологические карты и схемы представляют собой графическое изображение рельефа. Они дают характеристику его основных

показателей — морфологии, морфометрии, генезиса (происхождения), возраста и др. Например, на геоморфологической схеме территории г. Москвы (рис. 7.4) показаны несколько типов поверхностей: моренная (ледниковая) равнина, флювиогляциальная (водно-ледниковая) равнина, надпойменные террасы, пойма и оползневые склоны. Каждый из выделенных типов рельефа отличается специфическими инженерно-геологическими особенностями.

Изучение форм и типов рельефа, их распространения и динамики развития позволяет получить необходимую информацию для правильного выбора вариантов размещения строительных объектов, обеспечения их устойчивости и защиты от разрушительных природных процессов.

Особое внимание уделяется изучению таких форм рельефа, как речные долины, террасы, овраги, провальные воронки и др. Их, как и другие формы рельефа, изучают с помощью крупномасштабных топографических карт и маршрутных наблюдений, а также дешифрирования аэрофото- и космоснимков. Наличие тех или иных форм рельефа определяет, наряду с другими геологическими факторами, степень сложности природных условий площадки или района проектируемого строительства, а следовательно, объемы изыскательских работ и методику их проведения.

Проектировщик и инженер-строитель должны иметь достаточно полное представление об геоморфологических особенностях участка или района строительства. В своей работе они, как и инженеры-геологи, должны знать и учитывать:

- основные формы макро-, мезо- и микрорельефа, влияющие на устойчивость проектируемых сооружений, как в процессе строительства, так и при эксплуатации объекта;
- морфологические и морфометрические характеристики основных геоморфологических элементов (водораздельных поверхностей, террас, склонов, речных долин, низменностей и др.), характер их очертаний в плане и в разрезе;
- генезис (происхождение) и возраст основных форм рельефа (аллювиальных, эрозионных, суффозионно-карстовых и др.);
- динамичность развития и устойчивость различных форм рельефа (устойчивые, малоустойчивые, неустойчивые).



Рис. 7.4. Геоморфологическая схема г. Москвы (составила Э.А. Лихачева): 1 — пойма; 2—4 — надпойменные террасы: 2 — I, 3 — II, 4 — III; 5, 6 — равнины: 5 — флювиогляциальная, 6 — моренная; 7 — оползневые склоны

Необходимо помнить, что рельеф, как один из наиболее динамичных компонентов геологической среды, весьма чувствителен как к природным, так и к техногенным факторам воздействия. Под их влиянием он может существенно изменяться как в период строительства, так и при эксплуатации строительных объектов. Все это может вызывать непредвиденные деформации зданий и сооружений и создавать аварийные ситуации.

ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ

Воды, находящиеся в верхней части земной коры и залегающие ниже поверхности земли, называют *подземными*. Подземные воды — один из важнейших компонентов геологической среды. Исследованием подземных вод занимается *гидрогеология*.

Инженер-строитель должен иметь достаточно полное представление о подземных водах для того, чтобы в контакте с гидрогеологами рационально использовать подземные воды для водоснабжения. В сравнении с поверхностными водами (реки, озера, водохранилища) подземные воды обладают, как правило, более высоким качеством, не требуют дорогостоящей очистки, лучше защищены от поверхностных загрязнений.

Не случайно поэтому подземные воды преобладают в структуре водообеспечения практически во всех европейских странах, а также в других регионах мира (Китай, США и др.) и особенно в странах аридной зоны (до 100%). В России доля подземных вод в водоснабжении городов — 35–40%; для сельских населенных пунктов — более 80%.

Однако подземные воды не только ценнейший источник водоснабжения, но и фактор, значительно осложняющий строительство. Особенно сложным является производство земляных и горных работ в условиях притока подземных вод, затапливающих котлованы, карьеры, траншеи. Подземные воды ухудшают механические свойства рыхлых, особенно глинистых пород, могут быть агрессивной средой для металлических и бетонных сооружений, способствуют развитию неблагоприятных геологических процессов (подтопление, оползневые смещения, прорывы пльвунных песков и др.). Поэтому в процессе инженерно-геологических исследований изучению подземных вод уделяют особое внимание.

Глава 8. ВОДА В ЗЕМНОЙ КОРЕ

§ 1. Круговорот воды в природе и интенсивность водообмена подземных вод

В природе распространены атмосферные (дождь, облака, туман), поверхностные (океан, моря, реки) и подземные воды. Единство вод на Земле проявляется в ходе их круговорота.

Различают большой, малый и внутренний (местный) круговорот воды. При **большом круговороте** испарившаяся с поверхности Мирового океана влага переносится на сушу, где выпадает в виде осадков, которые вновь возвращаются в океан в виде поверхностного и подземного стока. **Малый круговорот** характеризуется испарением влаги с поверхности океана и выпадением ее в виде осадков на ту же водную поверхность. В ходе **внутреннего круговорота** испарившаяся с поверхности суши влага вновь попадает на сушу в виде атмосферных осадков (рис. 8.1).

Интенсивность водообмена подземных вод. В процессе круговорота воды в природе происходит постоянное возобновление природных вод, в том числе и подземных. Процесс смены первоначально накопившихся вод поступающими вновь называют **водообменом**. Подсчитано, что в круговороте воды на Земле ежегодно участвует более 500 тыс. км³ воды. Наиболее активно возобновляются речные воды.

Интенсивность водообмена подземных вод различна и зависит от глубины их залегания. По Н. К. Игнатовичу, в верхней части земной коры выделяют следующие вертикальные зоны:

- 1) зона интенсивного водообмена (воды преимущественно пресные) расположена в самой верхней части земной коры до глубины 300–400 м, реже более. Подземные воды этой зоны дренируются реками; в масштабе геологического времени — это воды молодые; водообмен осуществляется за десятки и тысячи лет;
- 2) зона замедленного водообмена (воды соленоватые и соленые), занимает промежуточное положение и располагается до глубины 600–2000 м. Обновление вод в процессе круговорота происходит в течение сотен тысяч лет;

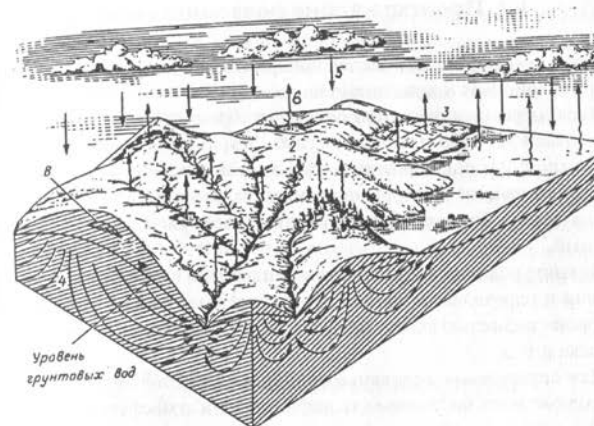


Рис. 8.1. Круговорот воды в природе (по А.Д. Говарду):
1 — ледники; 2 — озера; 3 — орошение; 4 — грунтовые воды; 5 — атмосферные осадки; 6 — испарение и транспирация; В — верховодка

- 3) зона весьма замедленного водообмена (воды типа рассолов) приурочена к глубоким зонам земной коры и полностью изолирована от поверхностных вод и атмосферных осадков. Водообмен — в течение сотен миллионов лет.

Наибольшее значение для водоснабжения имеют подземные воды, циркулирующие в зоне интенсивного водообмена. Постоянно пополняясь атмосферными осадками и водами поверхностных водоемов, они, как правило, отличаются значительными запасами и высоким качеством. Воды двух нижних зон, расположенных до глубины 10–15 км, практически в процессе круговорота не возобновляются, запасы их не пополняются.

Ниже глубины 10–15 км вода предположительно находится в парообразном состоянии.

§ 2. Происхождение подземных вод

Существуют две основные теории происхождения подземных вод: инфильтрационная и конденсационная.

Инфильтрационная теория объясняет образование подземных вод просачиванием (инфильтрацией) в глубь Земли атмосферных осадков и поверхностных вод. Просачиваясь по крупным трещинам и порам, вода задерживается на водонепроницаемых слоях и дает начало подземным водам. Процесс инфильтрации атмосферных осадков весьма сложный.

Питание подземных вод инфильтрационным путем изменчиво во времени и определяется природными условиями района: рельефом, водопроницаемостью пород, растительным покровом, деятельностью человека и т. д.

Для определения величины инфильтрационного питания ($Q_{и.п.}$) необходимо знать интенсивность инфильтрации атмосферных осадков ($Q_{инф.}$) и испарения ($Q_{и.}$):

$$Q_{и.п.} = Q_{инф.} - Q_{и.}$$

При понижении уровня подземных вод испарение с их поверхности уменьшается, а на некоторой глубине становится равной нулю. В этих условиях величина инфильтрационного питания подземных вод возрастает.

Конденсационная теория предполагает возникновение подземных вод в связи с конденсацией водяных паров, которые проникают в поры и трещины из атмосферы. В настоящее время эти две теории не противопоставляются, а взаимно дополняют друг друга. Многочисленные экспериментальные исследования показали, что атмосферная вода может проникать в горные породы, как в капельно-жидком состоянии, так и в виде пара (в меньших количествах).

Инфильтрационный путь образования подземных вод является основным для подземных вод, залегающих в зоне активного водообмена, в районах с достаточно высоким количеством атмосферных осадков. В районах с небольшим их количеством (пустыни, сухие степи) роль конденсации водяных паров в образовании и питании подземных вод существенно возрастает.

Минерализованные (соленые) воды глубоких зон земной коры, находящиеся в зоне замедленного и весьма замедленного водообмена, имеют *седиментационное* происхождение. Эти воды образовались после отложения (седиментации) древних морских осадков и последующего отжатия из них воды вследствие уплотнения пород.

Воды земной коры постоянно в течение длительного геологического времени пополняются и *ювенильными* водами, которые возникают в глубине Земли за счет кислорода и водорода, выделяемых магмой. Прямой выход на поверхность Земли в виде паров и горячих источников ювенильные воды имеют при вулканической деятельности.

§ 3. Водные свойства горных пород

Важнейшими свойствами горных пород по отношению к воде являются влагоемкость, водоотдача и водопроницаемость. Показатели этих свойств используются при различных гидрогеологических расчетах.

Влагоемкость характеризует способность пород вмещать и удерживать определенное количество воды. По степени влагоемкости породы подразделяют на *влагоемкие* (торф, глины, суглинки), *слабовлагоемкие* (мел, мергель, супеси) и *невлагоемкие* (скальные грунты, пески, галечники).

В зависимости от вида и количества воды в породах различают: гигроскопическую, молекулярную, капиллярную и полную влагоемкости.

Гигроскопическая влагоемкость (W_r) определяет способность породы притягивать из воздуха парообразную влагу и соответствует количеству прочно связанной (гигроскопической) воды.

Максимально-молекулярная влагоемкость ($W_{м.м.в.}$) соответствует максимальному количеству связанной воды в породе, удерживаемой силами молекулярного притяжения (по А. Ф. Лебедеву), капиллярная (W_k) — максимальному количеству воды в капиллярных порах, полная ($W_{п.в.}$) — максимальному количеству воды, удерживаемой породой при полном насыщении ее водой.

Водоотдача — способность водонасыщенных пород отдавать гравитационную воду в виде свободного стока. Для количественной оценки водоотдачи применяют *коэффициент водоотдачи*, т. е. отношение объема извлекаемой (или вытекающей) из породы воды (V_v) к объему осушенной части породы (V_n), т. е.

$$\mu = V_v / V_n.$$

Величина коэффициента водоотдачи может быть определена по формуле

$$\mu = n - \rho_d W_{м.м.в},$$

где n — пористость; ρ_d — плотность сухого грунта; $W_{м.м.в}$ — максимально-молекулярная влагоемкость.

При гравитационном опорожнении пор и при осушении пород извлекается лишь незначительная часть прочно связанной воды, поэтому практически считают $\mu = n_{акт}$, где $n_{акт}$ — активная пористость. Водоотдача песчаных пород может быть также определена как разность между полной их влагоемкостью и максимально-молекулярной влагоемкостью:

$$\mu = W_{п.в} - W_{м.м.в}.$$

Наибольшей водоотдачей обладают галечники, гравии, крупнозернистые гравелистые пески ($\mu = 0,2+0,35$). Гравитационная водоотдача низка у сильно влагоемких глин и суглинков ($\mu = 0,01+0,05$).

Водоотдача скальных пород зависит от их общей трещиноватости и изменяется в широких пределах от 0,001 до 0,1.

Разность между полной влагоемкостью и естественной влажностью пород называют *недостатком* или *дефицитом насыщения*:

$$\mu_n = W_{п.в} - W.$$

Недостаток насыщения характеризует количество воды, которое единица объема породы может поглотить при повышении уровня.

Водопроницаемость — способность пород пропускать через себя воду под действием напора.

Водопроницаемость пород зависит от размера сообщающихся между собой пор и трещин и от напора, под действием которого движется вода. На водопроницаемость оказывают влияние также состав породы, особенности ее сложения, свойства фильтрующей воды (вязкость).

Чем больше размер пор, пустот и трещин, тем меньше сопротивление движению воды и тем выше водопроницаемость пород. В галечниках, гравии и других крупнообломочных породах с размером пор до 1 см и более водопроницаемость значительно выше, чем в глинистых породах с очень мелкими порами. В глинистых породах поры частично заполнены связанной водой, которая в силу своей малой подвижности препятствует фильтрации свободной воды. По абсолютному же значению пористости глины ($n = 40+60\%$) превосходят крупнообломочные породы ($n = 20+35\%$).

Водопроницаемость песчаных и крупнообломочных пород резко уменьшается при наличии в их порах примесей, например глинистых частиц. Хорошо промытый галечник и галечник с глинистым заполнителем резко отличаются по величине водопроницаемости. Водопроницаемость глинистых пород зависит и от минерального состава тонкодисперсных фракций. Глинистые породы, содержащие в тонкодисперсной фракции монтмориллонит, очень слабо пропускают воду. Заметное повышение температуры воды приводит к уменьшению ее вязкости и возрастанию подвижности.

Количественно водопроницаемость пород характеризуется *коэффициентом фильтрации* k_f , имеющим размерность: м/сут, м/с, см/с. Методы его определения изложены в гл. 12 §3.

В зависимости от величины коэффициента фильтрации выделяют породы с высокой водопроницаемостью — k_f больше 1 м/сут (галечник, гравий, песок, трещиноватые скальные породы), с невысокой водопроницаемостью — k_f от 1 до 0,001 м/сут (глинистые пески, суглинки, слабо трещиноватые скальные породы) и практически водонепроницаемые — k_f меньше 0,001 м/сут (глины, монолитные нетрещиноватые скальные породы).

Водонепроницаемые породы принято называть *водоупорами*. Действительно, при большой мощности глины практически водоупорны. Однако абсолютно водонепроницаемых пород в природе не существует.

Глава 9. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

§ 1. Физические свойства подземных вод

При изучении подземных вод для различных целей определяют вкус, запах, цвет, прозрачность, температуру и другие физические свойства, которые характеризуют так называемые **органолептические** свойства воды, т. е. свойства, определяемые при помощи органов чувств. Подземные воды обычно прозрачны, бесцветны, не имеют запаха. Вкус подземной воды зависит от вида и содержания растворенных минеральных соединений и газов. Органолептические свойства могут резко ухудшаться при попадании в воду естественным или искусственным путем различных примесей (минеральных взвешенных частиц, органических веществ, некоторых химических элементов).

Температура подземной воды колеблется в широких пределах в зависимости от глубины залегания водоносного слоя, особенностей геологического строения, климатических условий и т. д. Различают воды холодные (температура от 0 до 20 °С), теплые, или субтермальные, воды (20–37 °С), термальные (37–100 °С), перегретые (свыше 100 °С). Очень холодные подземные воды циркулируют в зоне многолетней мерзлоты, в высокогорных районах; перегретые воды характерны для районов молодой вулканической деятельности (Камчатка, Исландия и др.).

На участках действующих водозаборов в основном распространены холодные воды с температурой от 5 до 20 °С.

С увеличением глубины залегания температура воды по закону геотермической ступени возрастает, достигая на глубине нескольких километров 100 °С и более.

Согласно ГОСТ, к физическим свойствам подземных вод относятся также плотность, вязкость, электропроводность, радиоактивность и др.

Плотность воды — масса воды, находящаяся в единице ее объема. Максимальна при температуре 4 °С. При повышении температуры до 250 °С плотность воды уменьшается до 0,799 г/см³, а при увеличении

количества растворенных в ней солей повышается до 1,400 г/см³. За счёт пониженной плотности возможно конвективное, восходящее движение перегретых подземных вод.

Вязкость воды характеризует внутреннее сопротивление частиц ее движению. С повышением температуры вязкость подземных вод уменьшается. **Электропроводность** подземных вод зависит от количества растворенных в них солей и выражается величинами удельных сопротивлений от 0,02 до 1,00 Ом · м. **Радиоактивность** подземных вод вызвана присутствием в ней радиоактивных элементов (урана, стронция, цезия, радия, газообразной эманации радия — радона и др.). Даже ничтожно малые концентрации — сотые и тысячные доли (мг/л) некоторых радиоактивных элементов — могут быть вредными для человека.

§ 2. Химический состав подземных вод

Подземная вода представляет собой сложный водный раствор, содержащий растворенные соли, газы (СО₂, Н₂С, СН₄ и др.), органические вещества и коллоиды. Количественные соотношения между отдельными компонентами обуславливают физические свойства и химический состав подземных вод.

Ионно-солевой состав. Подземная вода не встречается в химически чистом виде. В ней обнаружено более 60 элементов периодической системы Менделеева. Основные компоненты (ионы), определяющие химический тип воды, — Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ и K⁺. Эти ионы составляют более 90% всех растворенных в воде солей. Железо, нитриты, нитраты, водород, бром, йод, фтор, бор, радиоактивные и другие элементы содержатся в воде в меньших количествах. Однако даже в небольших количествах они могут оказывать существенное влияние на оценку пригодности подземных вод для различных целей.

Суммарное содержание растворенных в воде минеральных веществ называют **общей минерализацией**. О ее величине судят по **сухому** или **плотному остатку** (в мг/л или г/л), который получается после выпаривания определенного объема воды при температуре 105–110 °С. Между общей минерализацией подземных вод и их химическим составом существует определенная зависимость (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Классификация подземных вод по степени минерализации

Виды воды	Сухой остаток, г/л	Преобладающие ионы	Преобладающий химический тип воды
Пресные	до 1	HCO ₃ , CO ₃ , Ca	Гидрокарбонатно-кальциевый
Слабо солоноватые	1-3	SO ₄ , реже Cl	Сульфатный, реже хлоридный
Солоноватые	3-10	То же	То же
Соленые	10-50	SO ₄ , Cl	Сульфатный и хлоридный
Рассолы	Более 50	Cl, Ca, Mg, Na	Хлоридно-натриевый

В природных условиях общая минерализация подземных вод исключительно разнообразна. Встречаются подземные воды с минерализацией от 0,1 г/л (высокогорные источники) до 500-600 г/л (глубокозалегающие воды Ангаро-Ленского артезианского бассейна). Общая минерализация — один из главных показателей качества подземных вод.

Для количественного выражения активной реакции подземных вод (рН) служит логарифм концентрации ионов водорода, взятый с обратным знаком, т. е. $pH = -\lg(H^+)$. Вода с нейтральной реакцией имеет $pH = 7$, кислой $pH < 7$, щелочной $pH > 7$. Малые значения рН вызывают коррозию труб и ухудшают питьевые качества воды. Наиболее лучшими питьевыми качествами вода обладает при $pH = 6,5-8,5$.

Свойство воды, обусловленное содержанием в ней ионов кальция и магния, называют жесткостью. Различают несколько видов жесткости.

Общая жесткость определяется суммарным содержанием в воде всех ионов кальция и магния.

Карбонатная жесткость (устраиваемая при кипячении воды) — обусловлена содержанием в воде только гидрокарбонатных и карбонатных солей кальция и магния.

Кроме того, выделяют **постоянную (неустраиваемую) жесткость**, определяемую вычитанием из общей жесткости карбонатной (устраиваемой).

Жесткость выражается в мг-экв/л Ca²⁺ и Mg²⁺, причем 1 мг-экв/л жесткости соответствует 20,04 мг Ca²⁺ или 12,16 мг Mg²⁺ в 1 л воды. Оценка вод по степени жесткости приводится по О. А. Алекину (табл. 9.2).

Таблица 9.2

Классификация вод по степени жесткости

Воды	Общая жесткость, мг-экв/л
Очень мягкие	До 1,5
Мягкие	1,5-3,0
Умеренно жесткие	3,0-6,0
Жесткие	6,0-9,0
Очень жесткие	Более 9,0

Газы в подземных водах. Газы содержатся в подземных водах в растворенном виде. Наиболее распространены в подземных водах кислород (O₂), углекислота (CO₂), сероводород (H₂S), азот (N₂), метан (CH₄), благородные газы (гелий, аргон, радон и др.).

Газы заметно влияют на органолептические показатели подземных вод. Насыщенность воды свободной углекислотой придает ей способность разрушать бетон.

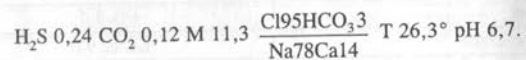
Органические соединения и коллоиды. В подземной воде почти всегда содержатся органические вещества и микроорганизмы. Некоторые их виды представляют серьезную опасность для питьевой воды.

В подземной воде могут также находиться коллоиды — твердые минеральные частицы, недиссоциированные SiO₂, Fe₂O₃ и т.д., находящиеся во взвешенном состоянии.

Виды химических анализов воды и формы их выражения. Различают три основных типа химических анализов: полевые, сокращенные и полные. Полевые анализы выполняются в полевых условиях с помощью походных лабораторий. Наиболее распространен сокращенный химический анализ, выполняемый в стационарных условиях с определением физических свойств, pH, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻, Ca²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, H₂S, O₃, CO₂сноб и CO₂ агрессивной, общей и карбонатной жесткости, окисляемости и сухого остатка. Полный химический анализ проводится при детальном изучении водоносных горизонтов.

Для краткой характеристики химического состава и физических свойств часто используют формулу М. Г. Курлова. В этой формуле ионный состав воды (в %-экв) изображен наподобие дроби, где в числителе в убывающем порядке указывается содержание анионов, а в знаменателе — катионов. Слева перед дробью перечисляются содержание микроэлементов (Br, I и др.) и свободных газов (CO₂ и др.), а также минерализация воды (М), в г/л. Справа от дроби записываются температура воды Т в °С и величина рН.

Например, химический состав минеральных вод Мацесты по формуле Курлова будет иметь следующий вид:



Графически химический состав подземных вод выражают в виде треугольников, графиков-диаграмм и в других формах (рис. 9.1, по С. Н. Чернышеву и др., 2002).

Оценка качества питьевых вод. Качество подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, оценивается по органолептическим и радиационным показателям, химическому составу и бактериальному загрязнению. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения, источником которого являются подземные воды, определяются Санитарно-эпидемиологическими правилами и нормами СанПиН 2.1.4.1175-02.

По органолептическим показателям питьевая вода должна быть прозрачна, бесцветна, не иметь неприятного запаха и вкуса. Величина сухого остатка не должна превосходить 1 г/л, общая жесткость — 7,0 мг-экв/л, содержание железа — 0,3 мг/л. Содержание отдельных растворенных веществ не должно превышать предельных значений, допустимых нормами.

В исключительных случаях могут быть использованы подземные воды с сухим остатком до 1,5 г/л, общей жесткостью до 10 мг-экв/л, содержанием железа до 1 мг/л, но только по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы. В питьевой воде совершенно недопустима патогенная флора, т. е. болезнетворные микробы. Бактериальное загрязнение оценивается по «коли-титру» и «коли-индексу».

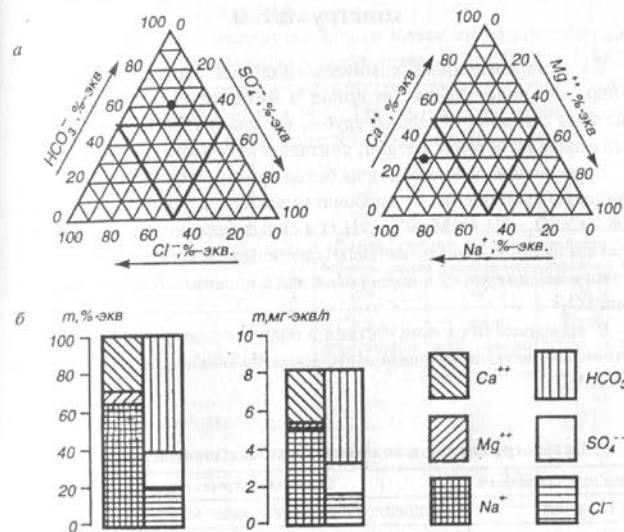


Рис. 9.1. Выражение химического состава воды в графической форме: а — треугольники анионного и катионного состава; б — графики-диаграммы солевого состава; *m* — содержание ионов

Подземная вода пригодна для питья при большом «коли-титре» (не менее 300 мл) и малом «коли-индексе» (не более 3).

В целом, согласно Санитарным правилам, питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические показатели.

Оценка качества подземных вод для технических целей зависит от характера того или иного производства. Для разных производств нужны воды различного качества.

§ 3. Агрессивность подземных вод к строительным конструкциям

Воды определенного химического состава могут оказывать разрушающее действие на бетонные и металлические конструкции, фильтры скважин, обсадные трубы, насосы и т. д. Подземная вода, разрушающая бетон и металл, считается *агрессивной*.

Агрессивное действие вод на бетон проявляется в растворении его основного компонента — карбоната кальция, а также в образовании солей $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и сульфоалюмината кальция («цементная бацилла»), вызывающего вспучивание и крошение бетона. Это явление характерно для подземных вод с повышенным содержанием иона SO_4^{2-} .

В зависимости от присутствия в воде тех или иных компонентов различают несколько видов агрессивности подземных вод к бетону (табл. 9.3).

Таблица 9.3

Виды агрессивности подземных вод по отношению к бетону

Вид агрессивности	Признаки агрессивности
Сульфатная	Повышенное содержание иона SO_4^{2-}
Магнезиальная	То же, Mg^{2+}
Общекислотная	Низкие значения pH ($\text{pH} < 5$ для бетона марки W_4)
Углекислотная	Наличие агрессивной углекислоты CO_2 более 10 мг/л
Выщелачивающая	Низкое содержание иона HCO_3^-

Степень агрессивного воздействия подземных вод на арматуру железобетонных конструкций оценивается по суммарному содержанию в них сульфатов и хлоридов.

Количественные критерии оценки вида и степени агрессивности подземных вод к бетону и железобетону приводятся в СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии».

По степени воздействия на строительные конструкции подземные воды, согласно данному СНиПу, разделяются на неагрессивные, слабоагрессивные, среднеагрессивные и сильноагрессивные. В нормах помимо химического состава воды учитывается также коэффициент

фильтрации пород, толщина конструкций и марка бетона по водонепроницаемости (W_4 , W_6 или W_8).

Агрессивность подземных вод определяется сопоставлением данных химического анализа воды с требованиями СНиП 2.03.11-85.

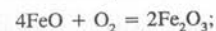
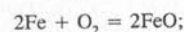
Приведем пример оценки сульфатной агрессивности грунтовых вод по одной из скважин (табл. 9.4). Грунтовые воды имеют общую минерализацию 2986,0 мг/л, содержание сульфатов в пересчете на SO_4^{2-} — 1620,5 мг/л.

Таблица 9.4

Цемент	Степень сульфатной агрессивности на бетону марки по водонепроницаемости		
	W_4	W_6	W_8
Портландцемент по ГОСТ 10178-85*	Сильно-агрессивная	Средне-агрессивная	Слабо-агрессивная
Портландцемент по ГОСТ 10178-85* с добавками и шлакопортландцемент	Неагрессивная		
Сульфатостойкий цемент по ГОСТ 222660-94*	Неагрессивная		

Меры борьбы с агрессивностью подземных вод к бетону могут быть различными: применение сульфатостойких цементов, гидроизоляция подземных частей сооружения, дренаж и др.

Агрессивное действие вод на металлы (коррозия металлов). Подземная вода с растворенными в ней солями и газами может обладать интенсивной коррозией по отношению к железу и другим металлам. Примером может служить окисление (разъедание) металлических поверхностей с образованием ржавчины под действием кислорода, растворенного в воде:



Подземные воды обладают коррозионными свойствами при содержании в них также агрессивной углекислоты, минеральных и органических кислот, солей тяжелых металлов, сероводорода, хлористых и некоторых других солей. Мягкая вода (с величиной общей жесткости менее 3,0 мг-экв/л) действует значительно агрессивнее, чем жесткая. Наибольшему разъеданию могут подвергаться металлические конструкции под влиянием сильно кислых ($\text{pH} < 4,5$) и сильно щелочных вод ($\text{pH} > 9,0$). Коррозии способствуют повышение температуры подземной воды, увеличение скорости ее движения, электрические токи.

Оценка коррозионной агрессивности вод по отношению к некоторым металлам производится по ГОСТу 9.602-89.

Глава 10. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Единая общепринятая классификация подземных вод до сих пор не создана. Это связано с большим разнообразием их свойств, условий залегания, движения и т. д. Подземные воды можно подразделить по ряду признаков, например по температуре, степени минерализации, интенсивности водообмена и т. д.

Наибольший практический интерес представляет классификация подземных вод по характеру их использования для технических и других целей и по условиям залегания в земной коре.

§ 1. Классификация подземных вод по характеру их использования для хозяйственно-питьевых и других целей

Подземные воды по этому признаку подразделяются на хозяйственно-питьевые, технические, промышленные, минеральные, термальные.

Хозяйственно-питьевые воды. Подземные воды широко используются для хозяйственно-питьевых целей. Пресные подземные воды — лучший источник питьевого водоснабжения, поэтому использование их для других целей, как правило, не допускается.

Источником хозяйственно-питьевого водоснабжения являются подземные воды зоны интенсивного водообмена. Глубина залегания пресных подземных вод от поверхности земли обычно не превышает нескольких десятков метров. Однако имеются районы, где они залегают на больших глубинах (300–500 м и более).

Технические воды — это воды, которые используют в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Требования к подземным техническим водам отражают специфику того или иного вида производства. В отличие от питьевых качество технических вод оценивается, прежде всего, по величине жесткости.

Промышленные воды содержат в растворе полезные элементы (бром, йод и др.) в количестве, имеющем промышленное значение. Обычно они залегают в зоне весьма замедленного водообмена, минерализация их высокая (от 20 до 500–600 г/л), состав хлоридно-натриевый, температура нередко достигает 60–80 °С.

Эксплуатация промышленных вод с целью добычи йода и брома рентабельна лишь при глубине залегания вод не более 3 км, уровне воды в скважине не ниже 200–600 м, количестве извлекаемой воды в сутки не менее 200–500 м³.

Минеральными называют подземные воды, которые имеют повышенное содержание биологически активных микрокомпонентов, газов, радиоактивных элементов и т. д. Минеральные воды выходят на поверхность земли естественным путем, т. е. в виде источников, или вскрываются с помощью буровых скважин.

Термальные воды имеют температуру более 37 °С. Термальные подземные воды залегают повсеместно на глубинах от нескольких десятков и сотен метров (в горно-складчатых районах) до нескольких километров (на платформах).

По трещинам термальные воды часто выходят на поверхность земли, образуя горячие источники с температурой до 100 °С (Камчатка, Кавказ). Разновидностью горячих источников являются гейзеры, выбрасывающие струю пара и воды на высоту до нескольких десятков метров.

Общие запасы термальных вод в нашей стране оцениваются миллионами кубометров. Термальные воды уже используются для теплофикации некоторых городов и сельскохозяйственных объектов, а также для энергетических целей (Паужетская геотермальная станция на Камчатке и др.).

§ 2. Классификация подземных вод по условиям залегания

По условиям залегания в земной коре подземные воды подразделяют на *верховодку, грунтовые и межпластовые воды* (рис. 10.1).

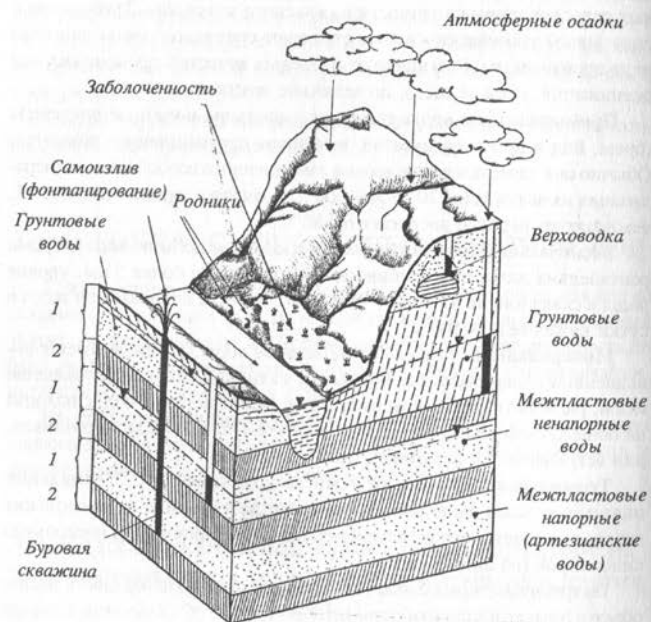


Рис. 10.1. Условия залегания подземных вод:
1 — водопроницаемые; 2 — водоупорные породы

Верховодка и грунтовые воды относятся к ненапорным водам и имеют свободную поверхность, давление на которую равно атмосферному. Межпластовые воды бывают ненапорными и напорными, последние иначе называют артезианскими.

Артезианские воды имеют пьезометрическую (напорную) поверхность.

Помимо этих основных типов подземных вод выделяют также *трещинные, карстовые* и подземные воды районов *многолетней мерзлоты*.

Верхняя часть земной коры в зависимости от степени насыщения водой пор горных пород делится на две зоны: верхнюю — зона аэрации и нижнюю — зона насыщения (рис. 10.2).

Зона аэрации расположена между поверхностью земли и уровнем грунтовых вод. В этой зоне, непосредственно связанной с атмосферой и почвенным покровом, наблюдается просачивание атмосферных осадков и поверхностных вод вглубь, в сторону зоны насыщения. Поры горных пород в зоне аэрации лишь частично заполнены водой, остальная часть их занята воздухом. Зона аэрации играет важную роль в формировании подземных вод. Мощность, т. е. толщина, зоны аэрации колеблется от нуля в заболоченных низинах до нескольких сотен метров в горных районах с сильно расчлененным рельефом.

Непосредственно над поверхностью подземных вод располагается зона повышенной влажности — капиллярная кайма. Мощность каймы зависит от состава и структуры горных пород.

Зона насыщения горных пород расположена ниже уровня грунтовых вод. В этой зоне все поры, трещины, каверны и другие пустоты заполнены гравитационной водой.

Подземные воды в зоне насыщения циркулируют в виде грунтовых, артезианских, трещинных и других вод.

Мощность зоны насыщения, так же как и зоны аэрации, изменяется соответственно изменению уровня грунтовых вод.

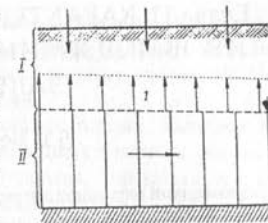


Рис. 10.2. Зоны:

I — аэрации; II — насыщения; 1 — капиллярная кайма; 2 — уровень грунтовых вод

Глава 11. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПО УСЛОВИЯМ ЗАЛЕГАНИЯ

§ 1. Верховодка

Верховодкой называют временное скопление подземных вод в зоне аэрации. Залегают она на небольшой глубине от поверхности земли и образуется над локальными водоупорами (или полуводоупорами), в роли которых могут быть линзы глин и суглинков в песке, прослойки плотных пород и т. д. (рис. 11.1). При инфильтрации вода временно задерживается на них и образует своеобразный тип подземной воды. Чаще всего это бывает связано с периодом обильного снеготаяния и выпадения дождей. В засушливое время года верховодка может полностью исчезнуть в результате испарения и просачивания в нижележащие слои.

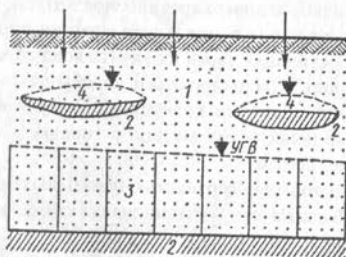


Рис. 11.1. Верховодка:

1 — водопроницаемая порода; 2 — водоупорные породы; 3 — грунтовая вода; 4 — верховодка

В легко водопроницаемых невлагоемких породах (пески, галечники, трещиноватые породы) верховодка возникает сравнительно редко, так же как и в сильновлагоемких набухающих глинах. Наиболее типичны для нее различные суглинки и лессовые породы.

Другой особенностью верховодки является возможность ее образования даже при отсутствии в зоне аэрации каких-либо водоупорных

пропластков. Например, в толщу суглинков обильно поступает вода, но вследствие низкой водопроницаемости просачивание происходит замедленно и в верхней части толщи образуется верховодка. Через некоторое время эта вода рассасывается.

На склонах верховодка практически отсутствует. Чаще всего она наблюдается на водораздельных равнинных участках, особенно в понижениях микрорельефа (степные блюдца, западины и т. п.), задерживающих талые снеговые и дождевые осадки.

По величине минерализации воды верховодки пестрые: от пресных (в северных районах страны) до солоноватых и соленых (в засушливых районах, с интенсивным испарением). Близость верховодки к поверхности земли часто приводит к ее загрязнению органическими соединениями. Водообильность незначительная, поэтому использование верховодки для водоснабжения ограничено: неглубокие колодцы в сельской местности, сезонное водоснабжение мелких предприятий. Для постоянного водоснабжения верховодка непригодна.

Верховодка представляет значительную опасность для строительства. Залегая в пределах подземных частей зданий и сооружений, она может вызвать их подтопление, если заранее не были предусмотрены меры дренирования или гидроизоляции. В результате значительных утечек воды (водопровод, канализационные сети, бассейны и др.) отмечено частое появление горизонтов верховодок на площадках многих объектов, расположенных в зоне распространения лессовых пород. Это представляет серьезную опасность, так как грунты оснований снижают свою устойчивость, затрудняется эксплуатация сооружений.

При инженерно-геологических изысканиях, проводимых в сухое время года, верховодка не всегда обнаруживается, поэтому ее появление при отрывке котлованов, траншей может быть неожиданным.

§ 2. Грунтовые воды

Грунтовыми называют воды первого от поверхности постоянного водоносного горизонта, выдержанного по площади и расположенного на первом водоупорном слое.

Грунтовые воды имеют свободную поверхность, т. е. сверху они не перекрыты водоупорными слоями. Свободную поверхность грунтовых

вод называют *зеркалом* (в разрезе — уровнем). Слой или пласт горных пород, насыщенный подземной водой, именуют *водоносным слоем* (пластом) или *водоносным горизонтом*. Расстояние от водоупора до уровня подземных вод называется мощностью водоносного горизонта (пласта) (рис. 11.2).

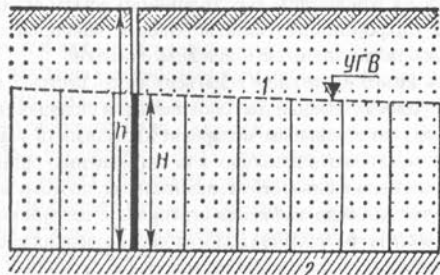


Рис. 11.2. Элементы грунтовой воды:

h — мощность водопроницаемых пород; H — мощность водоносного горизонта; 1 — уровень грунтовой воды; 2 — водоупорное ложе

Грунтовые воды в силу наличия свободной поверхности — *ненапорные*. Иногда при вскрытии грунтовых вод скважинами и другими выработками наблюдается местный (обычно небольшой) напор. Возникает он при проходке скважинами прослоев водоупорных пород, залегающих в толще водоносного слоя.

Питание грунтовых вод происходит за счет инфильтрации (просачивания) атмосферных осадков и конденсации водяных паров, а также поступления воды из поверхностных водоемов (рек, озер и т. д.). Значительно реже грунтовые воды подпитываются со стороны глубокозалегающих напорных вод. Территория, на которой происходит питание водоносного горизонта, называется *областью питания*. Для грунтовых вод характерно совпадение областей питания и распространения.

Грунтовые воды находятся в непрерывном движении, образуя *грунтовые потоки*. В отдельных случаях их залегание имеет форму *грунтовых бассейнов*. Грунтовые воды в бассейнах остаются

неподвижными и имеют горизонтальную поверхность. В противоположность им грунтовые потоки имеют соответствующие уклоны своей поверхности. Уклон поверхности грунтового потока обычно соответствует уклону рельефа поверхности земли и направлен в сторону ближайшего понижения. Грунтовые воды движутся от водоразделов к речным долинам, оврагам, балкам и т. п. В местах выхода грунтовых вод на поверхность образуются родники, мочажины, заболоченность. Это места естественной разгрузки (дренирования) грунтовых вод.

Грунтовые воды имеют почти повсеместное распространение. Глубина залегания грунтовых вод, химический состав и температура зависят от многих факторов: геологического строения района, рельефа местности, климатических условий. В целом зеркало грунтовых вод отражает рельеф земной поверхности. Наибольшая глубина залегания грунтовых вод отмечается на водоразделах, наименьшая — в понижениях рельефа.

Обычно грунтовые воды залегают на небольшой глубине — от 2 до 10 м. По степени минерализации воды преимущественно пресные, реже солоноватые и соленые, состав гидрокарбонатно-кальциевый, сульфатный и сульфатно-хлоридный.

Грунтовые воды широко используют для водоснабжения во многих районах России.

Основные типы грунтовых вод

На территории России отмечаются следующие наиболее характерные типы грунтовых вод: речных долин; ледниковых отложений; степей и полупустынь; предгорных и горных районов.

Грунтовые воды речных долин. Характерной особенностью грунтового потока является его незначительная ширина в сравнении с длиной.

Водовмещающими породами являются песчаные и крупнообломочные аллювиальные (речные) отложения (рис. 11.3). В долинах равнинных рек это песок, песок с гравием, реже галечник, в долинах горных рек — валуны, галечник и гравий с песчаным заполнителем.

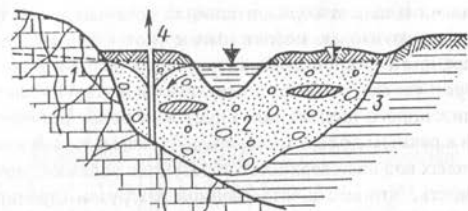


Рис. 11.3. Грунтовые воды в речных отложениях:

1 — водоносные известняки; 2 — речные отложения; 3 — водоупорные глины; 4 — водозаборные скважины

Сверху рыхлообломочные породы часто покрыты иловатыми суглинками, супесями и глинами.

Подземные воды в аллювиальных отложениях обычно безнапорны. Глубина залегания грунтовых вод — от долей метра до 20 м и более (на повышенных участках долины). Мощность водоносной толщи пород обычно не превышает 20–35 м.

Фильтрационные свойства аллювия крайне изменчивы, что связано с резкой неоднородностью пород по механическому составу. Наиболее водообильны крупнообломочные образования русловых отложений рек.

Воды речных долин обычно пресные, гидрокарбонатно-кальциевые, иногда с повышенным содержанием железа (Сибирь, Дальний Восток).

Роль грунтовых вод речных долин в водоснабжении населенных пунктов и промышленных предприятий весьма значительна.

Воды аллювиальных отложений широко используются для водоснабжения городов Красноярска, Новосибирска, Воронежа, Уфы и многих других городов, расположенных в долинах крупных рек.

Грунтовые воды ледниковых отложений. Подземные воды ледниковых отложений распространены в районах с избыточным увлажнением и невысоким испарением, поэтому питание их вполне обеспечено, а динамические запасы (естественные ресурсы) значительны. Грунтовые воды водно-ледниковых песков пресные с общей минерализацией

300–600 мг/л. В ряде районов они нуждаются в обезжелезивании и фторировании. Близкое залегание надморенных вод от поверхности земли требует тщательной охраны их от загрязнения (рис. 11.4).

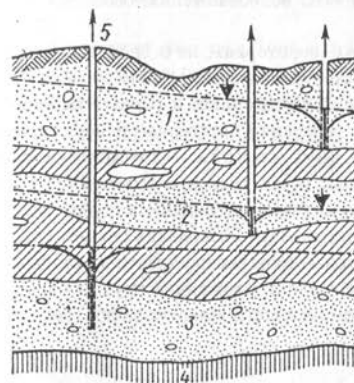


Рис. 11.4. Подземные воды в ледниковых отложениях:

1 — грунтовые воды (надморенные); 2 — межпластовые ненапорные (межморенные); 3 — артезианские воды (подморенные); 4 — дочетвертичные породы; 5 — водозаборные скважины

Подземные воды ледниковых отложений широко используются для водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий северных и центральных областей европейской части России. Наиболее перспективны для поисков подземных вод такие положительные формы современного рельефа, как песчаные озы, камы. Большие запасы пресных вод приурочены также к древним ледниковым долинам.

Грунтовые воды сухих степей и полупустынь. Условия формирования грунтовых вод в этих засушливых районах неблагоприятны. Степи, а особенно полупустыни и пустыни в сравнении с другими районами бедны пресными грунтовыми водами и относятся преимущественно к зоне континентального засоления. Влага интенсивно испаряется здесь не только с открытой водной поверхности, но и с поверхности грунтовых вод, вызывая засоление почвенного покрова,

образование солончаков и др. Ввиду слабой дренированности равнинных территорий, грунтовые воды движутся медленно, их минерализация, как правило, высокая. Все это создает значительные трудности при решении вопросов водоснабжения, особенно в полупустынях и пустынях.

Однако и на их территориях, на отдельных участках могут быть обнаружены достаточные запасы пресных подземных вод.

Грунтовые воды предгорных и горных районов. Наибольший интерес для водоснабжения в предгорных районах представляют воды конусов выноса. Конус выноса — это скопление рыхлообломочного материала (галки, песка, гравия) в устьевой части горных потоков, в местах их выхода на равнину. Мощность грубозернистых отложений в конусе выноса огромна (от нескольких сот метров до 2–3 км).

Пресные грунтовые воды распространены в головной части конусов выноса (области питания), сложенной крупнообломочным материалом, и в зонах интенсивного выклинивания (рис. 11.5). Запасы их значительны.

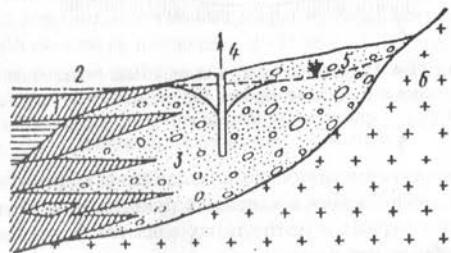


Рис. 11.5. Подземные воды в предгорных конусах выноса:

1 — водоупорные отложения; 2 — пьезометрический уровень напорных вод; 3 — водопроницаемые породы; 4 — водозаборные скважины; 5 — уровень грунтовых вод; 6 — скальные породы

В горных районах подземных вод меньше, чем в предгорных. Мощные потоки пресных грунтовых вод могут быть встречены лишь в аллювиальных отложениях долин горных рек.

В целом, высоко оценивая роль грунтовых вод как источника питьевого водоснабжения, необходимо подчеркнуть, что грунтовые

воды создают большие трудности при производстве строительных работ (заливают котлованы, траншеи и др.) и мешают нормально эксплуатировать различные здания и сооружения. В практике строительства чаще приходится принимать меры борьбы именно с грунтовыми водами.

Карты поверхности грунтовых вод (карты гидроизогипс). Для выявления характера поверхности (зеркала) грунтовых вод составляют карты гидроизогипс (рис. 11.6). Гидроизогипсами называют линии,

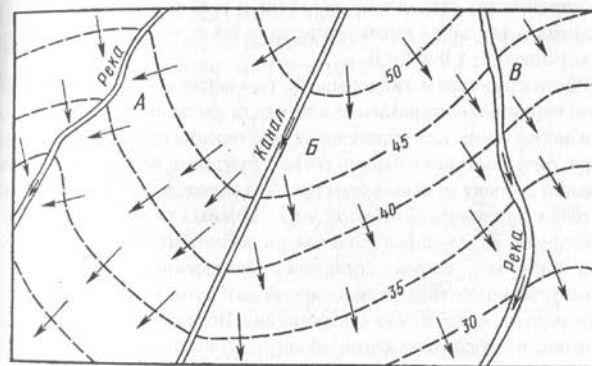


Рис. 11.6. Карта гидроизогипс:

участок А — грунтовые воды питают реку; В — канал питает грунтовые воды; В — грунтовые воды питают реку и выходят из нее

соединяющие точки с одинаковыми абсолютными или относительными отметками уровней грунтовых вод. Эти линии аналогичны горизонталям рельефа местности и подобно им отражают рельеф зеркала вод. Форма поверхности грунтовых вод сложная и зависит от многих факторов: состава водовмещающих пород и их водопроницаемости, рельефа, условий залегания и дренирования. Карты гидроизогипс необходимы при решении многих задач, связанных с проектированием водозаборов подземных вод, борьбой с подтоплением территории и др. Для построения карты гидроизогипс замеряют уровни грунтовых вод в скважинах, расположенных обычно по сетке. Замеры уровней

воды должны быть единовременными. Абсолютные отметки уровня подземных вод (h_n) в скважинах определяют по формуле

$$h_n = h_{n,z} - h,$$

где $h_{n,z}$ — абсолютная отметка поверхности земли; h — глубина залегания подземных вод от поверхности земли, м.

Полученные абсолютные отметки надписывают над каждой скважиной и затем методом интерполяции строят гидроизогипсы. Сечения гидроизогипс (частоту их заложения) выбирают в зависимости от масштаба карты и густоты расположения точек замера от 0,5 до 10,0 м, чаще 0,5; 1,0 и 2,0 м.

С помощью карты гидроизогипс (совмещенной с топооисовой) можно определить направление и скорость движения грунтового потока в любой точке. Для определения направления проводят перпендикуляр к гидроизогипсу в данной точке. Грунтовой поток движется по нормали в сторону меньших отметок. Для определения уклона потока грунтовых вод разность отметок двух смежных гидроизогипс делят на расстояние между ними (по нормали) в соответствии с масштабом карты. Чем выше степень сгущения гидроизогипс, тем при прочих равных условиях больше уклон поверхности потока подземных вод, а следовательно, выше и скорость движения. Используя положение гидроизогипс, в любой точке карты можно определить глубину залегания грунтовых вод (по разности отметок горизонталей и гидроизогипс).

§ 3. Межпластовые подземные воды. Артезианские воды и бассейны

Межпластовыми водами называют водоносные горизонты, залегающие между двумя водоупорными слоями. В зависимости от условий залегания они могут иметь свободную поверхность или обладать напором.

Межпластовые ненапорные воды встречаются сравнительно редко. Уровень этих вод располагается ниже кровли первого водоупора, т. е. водопроницаемый слой не имеет полного заполнения. По условиям передвижения и характеру напоров эти воды аналогичны грунтовым водам. Однако область питания межпластовых вод не совпадает

с областью их распространения. Питание вод происходит на участках выхода водоносного пласта на дневную поверхность или путем фильтрации из рек и других поверхностных водотоков и водоемов.

Межпластовыми напорными или **артезианскими** называют воды, залегающие между двумя водоупорными слоями и обладающие гидростатическим напором. В отличие от межпластовых ненапорных вод артезианские воды полностью насыщают водопроницаемый слой от подошвы до кровли. При вскрытии напорного водоносного пласта скважинами вода поднимается выше его водоупорной кровли, а при сильном напоре и низких абсолютных отметках земной поверхности может самоизливаться на поверхность (рис. 11.7) с высотой фонтанирования до нескольких десятков метров.

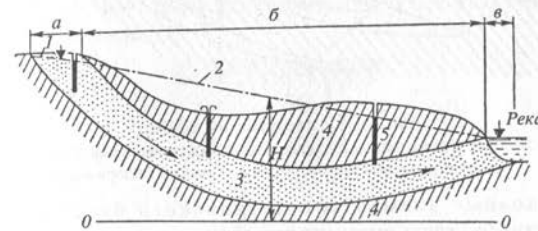


Рис. 11.7. Артезианский бассейн. Области:

a — питания напорных вод; b — напора; v — разгрузки; 1 — уровень грунтовых вод; 2 — пьезометрический уровень напорных вод; 3 — водоносный напорный пласт; 4 — водоупоры; 5 — скважины; H — величина пьезометрического напора

Артезианские воды обычно залегают на большой глубине и приурочены к синклинальным (прогнутым) геологическим структурам. При синклинальном залегании пластов создаются наиболее благоприятные условия для образования гидростатического напора. Напорные воды встречаются и при моноклинальном (однослоновом) залегании водоносных пластов, если последние резко изменяют свою водопроницаемость или выклиниваются. Они могут быть приурочены также и к зонам тектонических нарушений и разломов.

Геологические структуры синклинального типа, содержащие один или несколько напорных водоносных горизонтов и занимающие

значительные площади (до нескольких сотен тысяч квадратных километров), называют *артезианскими бассейнами*. При моноклиналином залегании слоев образуется *артезианский склон* (рис. 11.8).

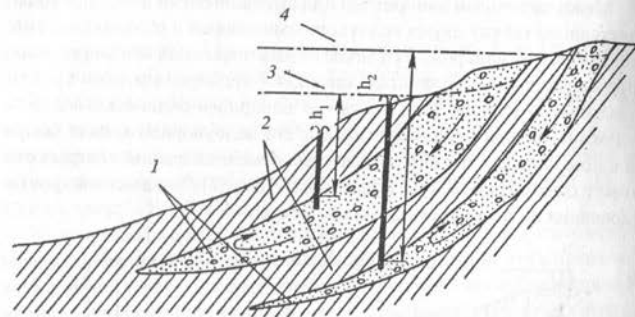


Рис. 11.8. Артезианский склон:

1 — водоносные напорные пласты; 2 — водоупорные породы; 3, 4 — пьезометрические уровни; h_1, h_2 — высота напора воды

Основные элементы артезианского бассейна. В артезианских бассейнах выделяют три области: питания, напора (распространения) и разгрузки (см. рис. 11.7).

Область питания распространена в приподнятой части артезианского бассейна, в месте выхода водопроницаемых слоев на поверхность. На ее территории происходит инфильтрационное питание напорных вод и переход поверхностного потока в подземный. Подземные воды в этой области не обладают напором и относятся к типу грунтовых. В местах с низкими отметками рельефа (долины крупных рек, озерные впадины, побережья морей) обычно располагаются *области разгрузки* артезианских вод. Напорные воды разгружаются непосредственно в реки или отложения рек, под уровень моря или выходят на дневную поверхность, образуя родники и заболоченности. В области разгрузки напорные воды смешиваются с грунтовыми и становятся ненапорными. Общее направление движения артезианских вод — от области питания к области разгрузки.

Основную площадь артезианского бассейна занимает *область напора* (распространения). На ее территории подземные воды находятся

под постоянным напором, который возрастает по мере приближения к осевой части синклиналиного прогиба. Величина напора вод характеризуется пьезометрическим уровнем, т. е. уровнем, который устанавливается в скважинах при вскрытии напорных вод. Если пьезометрический уровень расположен выше поверхности земли, высоту столба воды над устьем (началом) скважин, т. е. высоту *самоизлива*, определяют наращиванием обсадных труб.

Высота столба воды в метрах, отсчитываемая от кровли водного пласта, называется *напором над кровлей* h (рис. 11.9). Истинное значение напорности выражает пьезометрический напор H , который отсчитывается от плоскости сравнения $O-O$ (уровень моря) до пьезометрического уровня. Высота пьезометрического напора отсчитывается иногда не от плоскости сравнения, а от подошвы напорного водоносного пласта (H_n).

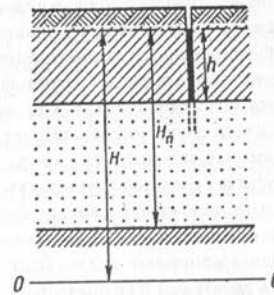


Рис. 11.9. Графическое изображение напорности подземных вод:

H — пьезометрический напор от плоскости сравнения $O-O$;
 H_n — пьезометрический напор от подошвы водоносного пласта; h — напор над кровлей пласта

Напор воды создается благодаря перепаду отметок высот областей питания и разгрузки, т. е. обусловлен законом сообщающихся сосудов. Напорность связана также с упругими свойствами воды и вмещающих ее горных пород.

Карты пьезометрической поверхности напорных вод (карты гидроизоэпез). Линии, соединяющие точки с одинаковыми отмет-

ками пьезометрического уровня, называют *гидроизопьезами* (или *пьезогипсами*). Карта гидроизопьез — совокупность таких линий и строится она методом интерполяции отметок, т. е. аналогично карте гидроизогипс. Если напорных водоносных горизонтов несколько, для каждого из них на карте наносится своя система гидроизопьез.

С помощью карты гидроизопьез решают ряд практических задач, связанных с использованием артезианских вод для водоснабжения, с организацией защиты от них при вскрытии строительными котлованами кровли напорного пласта и т. д. По карте гидроизопьез изучают условия формирования потоков артезианских вод, определяют направление их движения (по нормали к гидропьезам в сторону меньших отметок), выделяют участки возможного самоизлива (при совмещении гидроизопьез с горизонталями), устанавливают гидравлическую связь напорных вод с реками и пр.

При использовании артезианских вод для водоснабжения наиболее перспективным считается самый верхний напорный горизонт, где обычно залегают слабоминерализованные (пресные) воды.

Артезианские воды практически не загрязнены и, как правило, обладают значительной водообильностью. К недостаткам следует отнести необходимость в ряде случаев проходки очень глубоких скважин для вскрытия напорного водоносного горизонта.

Общая характеристика основных артезианских бассейнов России.

На территории России расположено несколько крупных артезианских бассейнов, т. е. значительных по размерам геологических структур, к которым приурочены напорные воды. Площади артезианских бассейнов измеряются десятками и сотнями тысяч квадратных километров. Наиболее крупные из них Западно-Сибирский, Московский, Якутский и др. В артезианских бассейнах сосредоточены огромные естественные запасы пресных, а также минеральных, промышленных и термальных вод.

Московский артезианский бассейн расположен на огромной территории (около 500 тыс. км²), в пределах Восточно-Европейской равнины. Мощность осадочного чехла, содержащего более 15 водоносных горизонтов различного возраста, составляет в центре бассейна около 3 км. Пресные воды артезианского бассейна широко используются для водоснабжения городов Москвы, Калуги, Тулы, Смоленска и др. В то же время подземные воды артезианского бассейна значительно

осложняют проходку и эксплуатацию метрополитена в Москве, шахт в Подмосковном угольном бассейне и др., так как являются основными источниками их обводнения.

Московский артезианский бассейн характеризуется огромными запасами промышленных (бромных, йодо-бромных и др.) и минеральных вод.

Самым крупным на территории России является **Западно-Сибирский артезианский бассейн**. Площадь бассейна — около 3,5 млн км², мощность осадочного чехла в его центральной части — 5–7 км. Для водоснабжения основное значение имеет верхний этаж, отделенный от нижнего гидрогеологического этажа мощной толщей песчано-глинистых отложений. Эксплуатационные запасы пресных и солоноватых вод только верхней части артезианского бассейна составляют 1100 м³/с. Велики запасы минеральных и термальных вод.

Мощными аккумуляторами подземных вод на территории России являются и другие артезианские бассейны платформенного типа: Якутский, Азово-Кубанский, Причерноморский, Ангаро-Ленский и др.

Артезианские бассейны занимают лишь часть территории России. На остальной части территории распространены гидрогеологические массивы, приуроченные к поднятиям кристаллического фундамента, и складчатые области с преимущественным развитием трещинных вод. Известны, например, бассейны трещинных вод Алданского кристаллического массива, Саяно-Алтайской и Уральской складчатой области.

§ 4. Подземные воды в трещиноватых и закарстованных породах

Трещинные воды — это подземные воды, циркулирующие в трещиноватых горных породах. Перемещаются они по системе взаимосвязанных трещин и образуют единую гидравлическую систему.

В зависимости от условий залегания трещинные воды могут быть грунтовыми, межпластовыми, жильными.

Трещинно-грунтовые воды развиты в верхней трещиноватой зоне кристаллических массивов (до глубины 80–100 м). Питаются они в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков и отличаются

значительными колебаниями уровня подземных вод во времени. Площади их питания совпадают с площадями распространения. Глубина залегания трещинно-грунтовых вод возрастает от долин к водоразделам (от нескольких метров до 80 м и более). Водоупором трещинно-грунтовых вод служат монолитные нетрещиноватые скальные породы. Водообильность трещинно-грунтовых вод определяется условиями их питания и степенью трещиноватости горных пород. Скальные породы, распространенные в долинах рек тектонического происхождения, более трещиноваты и водообильны, чем породы, слагающие водораздельные возвышенности. Буровая скважина может вскрыть водообильные трещинные воды или остаться безводной (рис. 11.10).

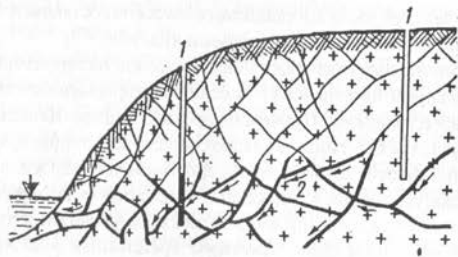


Рис. 11.10. Залегание трещинно-грунтовых вод:
1 — скважины; 2 — трещины с водой

Трещинно-грунтовые воды обычно расположены в зоне активного водообмена, поэтому в большинстве случаев они пресные, гидрокарбонатно-кальциевого состава. Быстрое проникновение поверхностных осадков по системе трещин на глубину может приводить к загрязнению вод вредными органическими соединениями. Это необходимо учитывать при оценке трещинно-грунтовых вод для питьевого водоснабжения.

Межпластовые трещинные воды циркулируют в артезианских бассейнах, водоносные горизонты которых представлены трещиноватыми горными породами.

Трещинно-жилые воды развиты локально, исключительно в зонах тектонических нарушений с крупными трещинами. Это линейно

вытянутые узкие водные потоки (жилы), уходящие в глубину на несколько сот метров, поэтому они часто имеют повышенную температуру. Для трещинно-жилых вод характерен напорный режим. Как правило, они отличаются значительной водообильностью, нередко разгружаются на поверхности земли и образуют мощные родники.

Трещинно-жилые воды получают питание за счет трещинно-грунтовых вод, разгрузки глубокозалегающих напорных водоносных горизонтов и других источников.

При строительстве подземных сооружений (трубопроводы, тоннели и др.) в горно-складчатых областях необходимо принимать меры, предотвращающие внезапный прорыв водообильных трещинно-жилых вод.

Карстовые воды. Подземные воды, которые циркулируют по трещинам и пустотам карстового происхождения, называют карстовыми или *трещинно-карстовыми*.

Движение карстовых вод происходит по весьма сложной системе трещин, каверн, карстовых каналов и пещер (рис. 11.11). Карстовые воды, перемещающиеся по системе взаимосвязанных крупных карстовых полостей (пещер), образуют карстовые потоки.

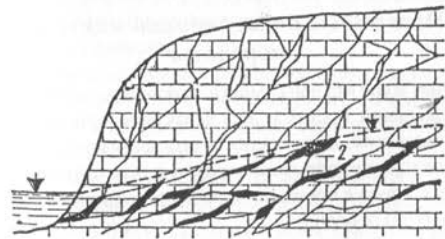


Рис. 11.11. Залегание карстовых вод в известняках:
1 — уровень карстовых вод; 2 — зона карстовых пустот, заполненных водой

Питание карстовых вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, подпитывания со стороны поверхностных водотоков и водоемов, а также перетекания подземных вод из других

водоносных горизонтов. Значительная трещиноватость карстовых массивов способствует интенсивной инфильтрации атмосферных осадков и накоплению больших запасов карстовых вод. Как правило, подземные воды, циркулирующие в сильно закарстованных породах, обладают значительной водообильностью.

Химический состав карстовых вод определяется в основном составом вмещающих пород и гидродинамической зональностью. В зоне интенсивного водообмена карстовые воды обычно пресные, гидрокарбонатные (в известняках) или жесткие сульфатные (в гипсах). В зонах замедленного водообмена карстовые воды минерализованные и сильно минерализованные, вплоть до рассолов, состав — хлоридный. Карстовые воды могут легко загрязняться с поверхности земли, поэтому исследованию их бактериального загрязнения придается большое значение. В целом роль карстовых вод в разрешении проблем водоснабжения многих районов страны (Урал, Восточная Сибирь и др.) существенна. Вместе с тем значительная водообильность карстовых вод может вызвать и серьезные осложнения при строительстве и эксплуатации различных сооружений в толще закарстованных пород (повышенные водопритоки к строительным котлованам, утечки вод из водохранилищ и т. д.).

§ 5. Подземные воды районов многолетней мерзлоты

Подземные воды в районах многолетней мерзлоты (Сибирь, Крайний Север, Дальний Восток и др.) характеризуются своеобразными условиями залегания, циркуляции и стока. Главная их особенность заключается в том, что они контактируют или непосредственно содержатся в толще пород с постоянной промороженностью, т. е. в толще многолетнемерзлых пород.

Многолетнемерзлые породы имеют мощность от нескольких метров до нескольких сот метров, содержат участки с постоянно положительной температурой (талики) и только в верхней части сезонно протаивают (деятельный слой).

По количеству подземных вод районы многолетней мерзлоты уступают районам с умеренным климатом. Поверхностные же источники промерзают на длительный период, поэтому организация водоснабжения в этих районах представляет значительные трудности. С подземными

водами связан и ряд геологических явлений, осложняющих строительство в районах с суровым климатом (наледи, бугры пучения и т. д.).

Подземные воды в районах многолетней мерзлоты классифицируют, по Н. И. Толстихину, на надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные.

Надмерзлотные воды подразделяют на воды сезонно-талого (деятельного) слоя и воды надмерзлотных таликов речных долин и озерных впадин. Подстилающим водоупором для них служит многолетнемерзлая толща, пустоты, трещины, поры которой постоянно заполнены льдом. Надмерзлотные воды образуют безнапорные горизонты типа верховодки и грунтовых вод. Питание надмерзлотные воды получают за счет инфильтрации осадков, таяния снежников и ледников, а также подпитывания в результате разгрузки подмерзлотных вод.

В первой половине зимы надмерзлотные воды деятельного слоя промерзают, и поскольку в этот период они залегают между двумя водоупорными слоями (снизу — толща многолетнемерзлых пород, сверху — горизонт сезонного промерзания), то развивают значительное давление и становятся напорными. По величине минерализации воды пресные и летом могут использоваться для водоснабжения, однако количество (запасы) их незначительно, а санитарно-техническое состояние не всегда удовлетворительно.

Надмерзлотные воды в зоне таликов под влиянием переноса тепла реками и озерами зимой обычно не промерзают и имеют постоянный сток. Это воды пресные, очень холодные (температура 0,5–5°С), используются для водоснабжения.

Межмерзлотные воды содержатся внутри толщи многолетней мерзлоты как в твердой (лед), так и в жидкой фазе (зона прерывистых и сквозных таликов). Межмерзлотные воды в жидкой фазе обычно напорны. Распространены они не повсеместно и залегают в пределах таликов преимущественно в долинах рек. Постоянная циркуляция, отчасти высокая минерализация, предохраняет их от замерзания. Запасы межмерзлотных вод непостоянны и к концу зимы значительно сокращаются.

Подмерзлотные воды циркулируют ниже многолетнемерзлотной толщи, поэтому встречаются только в жидкой фазе. Воды напорны, величина напора над кровлей нередко достигает нескольких сотен

метров. По условиям циркуляции подмерзлотные воды аналогичны напорным водам в районах с умеренным климатом.

Запасы подмерзлотных вод значительны. Водообильность высокая, особенно карстовых подмерзлотных вод. Минерализация вод пестрая (от пресных до рассолов).

Глава 12. ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

§ 1. Общие понятия о движении подземных вод

Подземные воды в большинстве случаев находятся в движении. Раздел гидрогеологии, изучающий закономерности движения подземных вод, называется *динамикой подземных вод*.

Законы движения подземных вод используются при гидрогеологических расчетах водозаборов, дренажей, определении притоков воды к строительным котлованам и т. д.

Подземные воды могут передвигаться в горных породах как путем инфильтрации, так и фильтрации. При *инфильтрации* передвижение воды происходит при частичном заполнении пор воздухом или водяными парами, что обычно наблюдается в зоне аэрации. При *фильтрации* движение воды происходит при полном заполнении пор или трещин водой. Масса этой движущейся воды создает *фильтрационный поток*.

Фильтрационные потоки подземных вод различаются по характеру движения, гидравлическому состоянию, режиму фильтрации и т. д.

Движение подземных вод может быть установившимся и неустановившимся, напорным и безнапорным, ламинарным и турбулентным.

При *установившемся* движении все элементы фильтрационного потока (скорость, расход, направление и др.) не изменяются во времени. Во многих случаях эти изменения настолько малы, что для практических целей ими можно пренебречь.

Фильтрационный поток называется *неустановившимся*, если основные его элементы изменяются не только от координат пространства, но и от времени.

Подземный поток становится переменным, т. е. приобретает неустановившийся характер движения, под действием различных естественных и искусственных факторов (неравномерная инфильтрация атмосферных осадков, откачка воды из скважины, сброс сточных вод на поля фильтрации и т. д.).

По гидравлическому состоянию различают безнапорные, напорные и напорно-безнапорные потоки подземных вод.

Для *безнапорных* потоков характерно неполное заполнение водой поперечного сечения водопроницаемого пласта. Безнапорные потоки имеют свободную поверхность, движение воды в них происходит под действием силы тяжести.

Напорные потоки характеризуются полным заполнением поперечного сечения водопроницаемого пласта водой, имеется пьезометрический уровень, движение воды происходит как под действием силы тяжести, так и за счет упругих свойств воды и водовмещающих пород.

Напорно-безнапорные потоки образуются при откачке воды из скважин, если пьезометрический уровень опускается ниже кровли напорного водоносного пласта.

Движение подземного потока может быть ламинарным и турбулентным. При *ламинарном* движении струйки воды передвигаются без завихрений, параллельно друг другу. Ламинарный характер движения воды наблюдается не только в пористых, но и в трещиноватых породах с коэффициентом фильтрации до 300–400 м/сут.

В породах с крупными трещинами и пустотами, с коэффициентом фильтрации более 300–400 м/сут, а также в хорошо промытых галечниках движение воды в отдельных случаях носит вихревой характер, или *турбулентный*. Этот тип движения в горных породах наблюдается сравнительно редко.

При известных допущениях фильтрационные потоки в плане можно рассматривать как плоские или радиальные.

Плоским называется поток подземных вод, в котором струйки направлены более или менее параллельно друг другу.

Радиальный поток отличается различным направлением струек: сходящимся или расходящимся. Примером радиального потока может служить движение грунтовых вод при откачке воды из скважины (рис. 12.1).

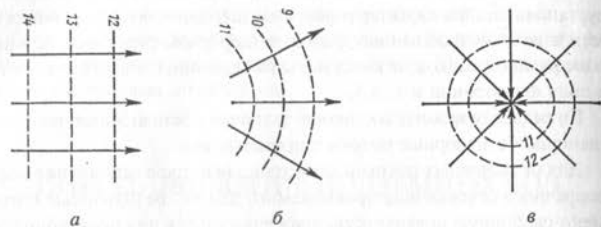


Рис. 12.1. Потoki грунтовой воды:
a — плоский; *б* — радиальный (расходящийся); *в* — радиальный (сходящийся)

Решение задач о движении подземных вод, выбор метода гидрогеологического расчета и расчетной схемы производят на основе схематизации (упрощения) природных гидрогеологических условий. При этом учитывают основные особенности фильтрационного потока подземных вод (характер движения, гидравлические характеристики, фильтрационные свойства пород, границы водоносных горизонтов и т. д.).

В зависимости от степени учета особенностей потока подземных вод решение конкретных фильтрационных задач выполняется на основе простых или строгих аналитических или численных методов. В особо сложных случаях используют методы моделирования, что позволяет, особенно с помощью ЭВМ, наиболее полно учитывать сложные природные условия, а это повышает достоверность гидрогеологических прогнозов.

§ 2. Основной закон фильтрации подземных вод — закон Дарси

Движение подземных вод происходит при наличии разности гидравлических напоров (уровней). Воды движутся от мест с более высоким напором (уровнем) к местам с низким напором (рис. 12.2).

Чем больше разность напоров $\Delta H = H_1 - H_2$, тем скорость движения подземных вод будет выше. Отношение разности напоров ΔH

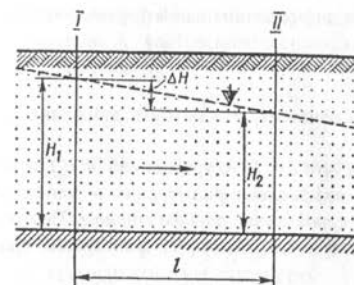


Рис. 12.2. Схема движения (фильтрации) грунтовой воды

к длине пути фильтрации l называют *напорным* или *гидравлическим градиентом* $I = \Delta H / l$.

Фильтрация в полностью водонасыщенных грунтах при ламинарном режиме движения подчиняется закону Дарси

$$Q = k_{\phi} F \frac{\Delta H}{l} = k_{\phi} F I,$$

где Q — расход воды или количество фильтрующейся воды через поперечное сечение F в единицу времени, м³/сут; k_{ϕ} — коэффициент фильтрации, м/сут; F — площадь поперечного сечения потока воды или водоносного пласта, м²; ΔH — разность напоров, м; l — длина пути фильтрации, м; I — напорный градиент.

Разделив обе части уравнения на площадь сечения F и используя понятие *скорости фильтрации* v , т. е. отношение расхода Q к площади поперечного сечения потока, т. е. $v = Q/F$, получаем

$$v = k_{\phi} I.$$

Из этого выражения закона Дарси следует, что скорость фильтрации пропорциональна напорному градиенту в первой степени (при ламинарном движении).

Закон Дарси в дифференциальной форме имеет вид

$$v = -k_{\phi} \frac{dH}{dt}.$$

Знак «минус» означает, что по пути движения значение напора уменьшается.

Если принять, что $I = 1$, то уравнение $v = k_{\phi} I$ получает вид $v = k_{\phi}$ или $k_{\phi} = v$, т. е. коэффициент фильтрации — это скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице. Поэтому размерность коэффициента та же, что и скорости фильтрации воды, т. е. м/сут, см/с и т. д.

Скорость фильтрации по формуле $v = Q/F$ не отвечает действительной скорости движения воды в породе. Это связано с тем, что в формулу входит величина F , отражающая все сечение фильтрующей породы, а вода, как известно, течет лишь через часть сечения, равную площади пор и трещин породы. Поэтому величина v является кажущейся.

Действительную скорость движения воды v_d определяют с учетом пористости породы

$$v_d = \frac{Q}{Fn} = \frac{v}{n},$$

где n — пористость, выраженная в долях единицы.

Так как величина пористости всегда меньше единицы, то действительная скорость движения воды всегда значительно выше скорости фильтрации (примерно в 3–4 раза). Например, в галечниках при $n = 0,25$ действительная скорость движения подземных вод будет в 4 раза выше скорости фильтрации. В глинистых породах часть пор занята связанной водой и вода передвигается только через открытые поры, поэтому в данном случае в формулу вводят не n , а $n_{\text{акт}}$ (активную пористость).

Закон Дарси, или линейный закон фильтрации, справедлив для преобладающего числа случаев фильтрации в самых разнообразных породах, поэтому его называют *основным законом движения подземных вод*. Однако закон Дарси не является всеобщим.

Движение турбулентного потока не подчиняется закону Дарси. Для выражения фильтрации воды в породах с крупными пустотами

и трещинами, в хорошо промытых галечниках при турбулентном режиме служит уравнение А. А. Краснопольского, характеризующее нелинейный закон фильтрации:

$$v = k_k \sqrt{I},$$

где k_k — коэффициент, определяемый опытным путем в поле.

§ 3. Фильтрационные параметры горных пород и водоносных пластов

К основным фильтрационным параметрам относят, прежде всего, коэффициент фильтрации, а также коэффициенты водопроницаемости, пьезопроводности и уровнеспроводности.

Коэффициент фильтрации. Как следует из основного закона движения подземных вод, коэффициент фильтрации — это скорость фильтрации при напорном градиенте $I = 1$. Величина коэффициента фильтрации грунтов в основном определяется геометрией пор, т. е. их размерами и формой. На величину коэффициента фильтрации влияют также свойства фильтрующей воды (вязкость, плотность), минеральный состав грунтов, степень засоленности и др.

Методы определения. Приближенная оценка величин коэффициента фильтрации возможна по табличным данным (например, по Н.А. Плотникову, табл. 12.1).

Таблица 12.1

Коэффициент фильтрации главнейших горных пород

Характеристика пород	Коэффициент фильтрации, м/сут
Очень хорошо проницаемые галечники с крупным песком, сильно закарстованные и сильно трещиноватые породы	100–1000 и более
Хорошо проницаемые галечники и гравий, частично с мелким песком, крупный песок, чистый среднезернистый песок, закарстованные, трещиноватые и другие породы	100–10

Окончание табл. 12.1

Характеристика пород	Коэффициент фильтрации, м/сут
Проницаемые галечники и гравий, засоренные мелким песком и частично глиной, среднезернистые пески и мелкозернистые, слабо закарстованные, малотрещиноватые и другие породы	10-1
Слабопроницаемые тонкозернистые пески, супеси, слаботрещиноватые породы	1-0,1
Весьма слабопроницаемые суглинки	0,1-0,001
Почти непроницаемые глины, плотные мергели и другие монолитные скальные породы	Менее 0,001

Для получения более обоснованных значений коэффициента фильтрации применяют расчетные, лабораторные и полевые методы.

Расчетным путем коэффициент фильтрации определяют преимущественно для песков и гравелистых пород.

Расчетные методы являются приближенными и рекомендуются лишь на первоначальных стадиях исследования. Для расчетов используется одна из многочисленных эмпирических формул, связывающих коэффициент фильтрации грунта с его гранулометрическим составом, пористостью, степенью однородности и т. д.

Лабораторные методы основаны на изучении скорости движения воды через образец грунта при различных градиентах напора. Все приборы для лабораторного определения коэффициента фильтрации могут быть подразделены на два типа: с постоянным напором и с переменным.

Приборы, моделирующие постоянство величины напорного градиента, т. е. установившееся движение (приборы Тима, Тима—Каменского, трубка конструкции Спецгео и др.), применимы в основном для грунтов с высокой водопроницаемостью. Принцип работы приборов следующий. В цилиндрический сосуд с двумя боковыми пьезометрами Π_1 и Π_2 помещают испытуемый грунт (рис. 12.3). Через него фильтруют воду под некоторым напором. Зная диаметр цилиндра (F),

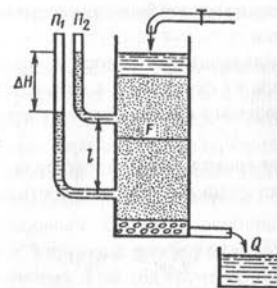


Рис. 12.3. Схема прибора для определения коэффициента фильтрации песков

напорный градиент ($I = \frac{\Delta H}{l}$) и измерив расход профильтровавшейся воды (Q), находят коэффициент фильтрации по формуле

$$Q = k_{\phi} I F; k_{\phi} = Q / I F = Q / F(h_1 - h_2),$$

где h_1 и h_2 — показания пьезометров; l — расстояние между точками их присоединения.

Приборы, моделирующие переменный напор, характеризующий неустановившееся движение, обычно используют для определения коэффициента фильтрации связных грунтов с малой водопроницаемостью. Это компрессионно-фильтрационные приборы типа Ф-1М. Они позволяют вести наблюдения при изменении напорного градиента от 50 до 0,1 в образцах, находящихся под определенным давлением. Основной частью прибора является одометр, с помощью которого на грунт передается давление. К одометру по трубкам подводится и после фильтрации отводится вода. Напор создается с помощью пьезометрических трубок.

Простота и дешевизна лабораторных методов позволяет широко их использовать для массовых определений коэффициента фильтрации.

Полевые методы позволяют определить коэффициент фильтрации в условиях естественного залегания пород и циркуляции подземных вод, что обеспечивает наиболее достоверные результаты.

Вместе с тем полевые методы более трудоемкие и дорогие в сравнении с лабораторными.

Коэффициент фильтрации водоносных пород определяют с помощью откачек воды из скважин, а в случае неводоносных грунтов — методом налива воды в шурфы и нагнетанием воды в скважины (см. гл. 36).

Коэффициент водопроводности представляет собой произведение коэффициента фильтрации (k_f) на мощность водоносного пласта (h_{cp} или m)

$$T = k_f h_{cp}, \quad T = k_f m,$$

где h_{cp} — средняя мощность безнапорного водоносного пласта; m — мощность напорного пласта; T — коэффициент водопроводности, м²/сут.

Коэффициент пьезопроводности — показатель перераспределения напоров в водоносном напорном пласте в условиях неустановившейся фильтрации. Коэффициент пьезопроводности (a) зависит от упругих свойств подземных вод, а также от пористости, коэффициента фильтрации и упругих свойств водоносной породы:

$$a = \frac{k_f}{n_{акт} \beta_a + \beta_n},$$

где k_f — коэффициент фильтрации породы; $n_{акт}$ — активная пористость; β_n и β_a — коэффициенты объемной упругости соответственно воды и породы.

Коэффициент урнепроводности отражает способность водоносного пласта передавать изменения уровня подземных вод со свободной поверхностью в процессе неустановившейся фильтрации. Коэффициенты пьезопроводности для артезианских вод изменяются от 10^3 до 10^7 м²/сут, а коэффициенты урнепроводности для грунтовых вод — от $0,2 \cdot 10^3$ до 10^4 м²/сут.

Для гидрогеологических расчетов в условиях установившейся фильтрации достаточно иметь данные только о коэффициенте фильтрации. При неустановившемся движении необходимо определять не только коэффициент фильтрации, но и коэффициенты урнепроводности (пьезопроводности).

§ 4. Расход плоского потока подземных вод

Типичным примером плоского потока может служить движение подземных вод к траншеям, штольням и другим горизонтальным выработкам. Плоский поток может быть грунтовым (безнапорным) и напорным. Он может перемещаться в однородных и неоднородных пластах, при горизонтальном и наклонном водоупоре.

Расход грунтового (безнапорного) потока в однородных пластах.
Водоупор горизонтальный. Согласно основному закону фильтрации — закону Дарси, в пределах рассматриваемого участка (рис. 12.4, а) от сечения I до сечения II расход грунтового потока в однородных пластах может быть определен как

$$Q = k_f I F = k_f I_{cp} B h_{cp},$$

где k_f — коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут; B — ширина потока, м; I_{cp} — средняя мощность потока, м; h_{cp} — средний напорный градиент потока.

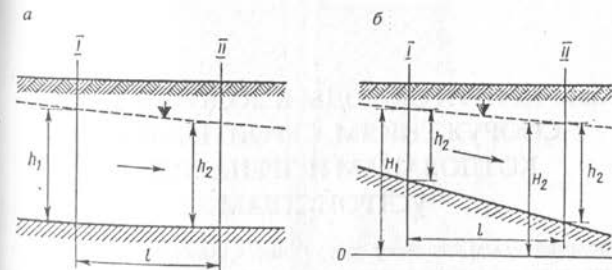


Рис. 12.4. Схема для расчета расхода плоского потока грунтовых вод: а — с горизонтальным; б — с наклонным водоупором

Принимая $h_{cp} = (h_1 + h_2) / 2$ и $I_{cp} = (h_1 - h_2) / l$, расход грунтового потока можно выразить формулой

$$Q = [k_f B (h_1 + h_2) / 2] [(h_1 - h_2) / l] = k_f B (h_1^2 - h_2^2) / 2l.$$

Расход плоского потока удобнее выражать на единицу его ширины, т. е. в виде единичного расхода $q = Q/B$, где q — единичный расход плоского потока, т. е. количество воды, протекающее в единицу времени через сечение потока шириной 1 м:

$$q = k_{\phi} (h_1^2 - h_2^2) / 2l.$$

Водоупор наклонный (рис. 12.4, б). Единичный расход грунтового потока определяется также из закона Дарси:

$$q = [k_{\phi}(h_1 + h_2) / 2] [(H_1 - H_2) / l],$$

где H_1 и H_2 — напоры воды в сечениях I и II, отсчитанные от условной плоскости сравнения (O—O) или уровня моря.

При движении подземных вод в неоднородных водоносных пластах, т. е. пластах, состоящих из ряда слоев с различной водопроницаемостью, для определения расхода потока подземных вод вводится средний коэффициент фильтрации пласта $k_{\phi, \text{ср}}$.

Глава 13. ПРИТОК ВОДЫ К ВОДОЗАБОРНЫМ СООРУЖЕНИЯМ, СТРОИТЕЛЬНЫМ КОТЛОВАНАМ И ДРЕНАЖНЫМ УСТРОЙСТВАМ

Водозаборным называют сооружение, с помощью которого производится захват (забор) подземных вод для водоснабжения и других целей.

Существуют различные типы подземных водозаборных сооружений: вертикальные, горизонтальные, лучевые, а также каптажи источников подземных вод.

К **вертикальным** водозаборам относят буровые скважины и шахтные колодцы, к **горизонтальным** — траншеи, галереи, штольни, к **лучевым** — водосборные колодцы с водоприемными лучами-фильтрами. Тип водозаборного сооружения выбирают на основе технико-

экономического расчета, исходя из глубины залегания водоносного пласта, его мощности, литологического состава водоносных пород и намечаемой производительности водозабора.

Наиболее распространенным типом водозаборных сооружений является буровая скважина. Водозаборы, состоящие из одной скважины, называют **одиночными**, а из нескольких — **групповыми**.

Скважины, вскрывающие водоносный горизонт на полную его мощность, являются **совершенными**, а не на полную — **несовершенными**.

Интенсивный водозабор из скважин осуществляется в период откачки. Откачка воды из скважин обычно производится с помощью насосов различных типов (рис. 13.1 по Г. А. Разумову), а также эрлифтов. Значительно реже наблюдается самоизлив скважин.

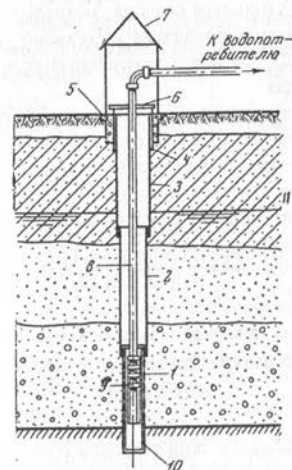


Рис. 13.1. Водозаборная буровая скважина:

- 1 — фильтр; 2 — колонна труб эксплуатационная; 3 — обсадные трубы; 4 — кондуктор; 5 — затрубная цементация; 6 — устье скважины; 7 — павильон; 8 — насосные трубы; 9 — насос; 10 — отстойник; 11 — статический уровень подземных вод

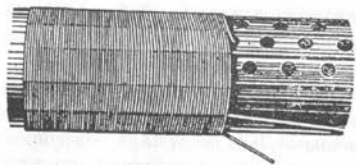


Рис. 13.2. Фильтр водозаборной скважины

Водоприемная часть водозаборных скважин при необходимости закрепляется фильтром, который в зависимости от мощности и характера водоносной толщи перекрывает водоносный пласт полностью или частично. Фильтр, представляющий собой трубу с отверстиями круглого или прямоугольного сечения, покрывают фильтровальной сеткой, чтобы исключить попадание в скважину песка в период отбора воды (рис. 13.2). Фильтры устанавливают только в рыхлых и неустойчивых породах.

Тип конструкции фильтра, размеры его проходных отверстий принимаются в зависимости от крупности частиц водоносной породы, коэффициента неоднородности породы, глубины скважины и т. д.

Глубина водозаборных скважин может быть различной. Однако во всех случаях подошва водоносного слоя должна залегать на глубине более 8–10 м, а его мощность быть не менее 5–6 м. Глубина водозаборных скважин иногда может превышать 800 м и более.

§ 1. Понятие о депрессионной воронке и радиусе влияния

При откачке воды из скважин вследствие трения воды о частицы грунта происходит воронкообразное понижение уровня (рис. 13.3).

Образуется *депрессионная воронка*, имеющая в плане форму, близкую к кругу. В вертикальном разрезе воронка ограничивается *депрессионными кривыми*, крутизна которых возрастает по мере приближения к оси скважины. Образование депрессионной воронки вызывает отклонение токов вод от естественного направления и изме-

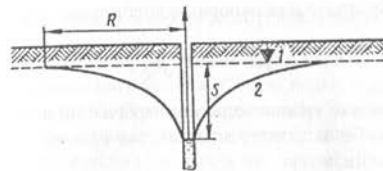


Рис. 13.3. Депрессионная воронка:

I — уровень грунтовой воды; *2* — депрессионная кривая; *S* — понижение уровня воды в скважине при откачке; *R* — радиус воронки

нение поверхности грунтового потока, что может быть установлено в плане при сравнении гидроизогипс до и после откачки.

Установление границ депрессионной воронки имеет большое практическое значение при оценке фильтрационных свойств пород, проведении осушительных работ, определении причин загрязнения подземных вод и т. д.

Радиус депрессионной воронки называется **радиусом влияния (*R*)**. Размер депрессионной воронки, а следовательно, и *R*, а также крутизна кривых депрессий зависят от водопроницаемости пород. Хорошо водопроницаемые гравий и песок, в которых меньше трение воды о частицы, характеризуются широкими воронками с большим радиусом влияния, для слабо водопроницаемых суглинков свойственны более узкие воронки с небольшой величиной *R*.

На величину и форму депрессионной воронки оказывают влияние также условия питания водоносного горизонта, связь его со смежными водоносными горизонтами и поверхностными водоемами, интенсивность и продолжительность откачки и т. д.

Определение радиуса влияния (*R*). В практических расчетах для определения радиуса влияния, или радиуса депрессии, обычно используют приближенные формулы, иногда дающие только порядок его величины.

Формула Кусакина для определения *R* в безнапорном водоносном пласте при установившейся фильтрации имеет вид

$$R = 2S \sqrt{Hk_{\phi}}$$

Формула Зихардта для напорных водоносных пластов

$$R = 10S \sqrt{k_{\phi}},$$

где S — понижение уровня воды при откачке по центру воронки, м; H — мощность безнапорного водоносного пласта, м; k_{ϕ} — коэффициент фильтрации, м/сут.

Ориентировочные величины радиуса влияния могут быть также определены по таблицам (табл. 13.1).

Таблица 13.1

Значения радиуса влияния на каждые 10 м понижения воды

Породы	Радиус влияния R , м
Мелкозернистые пески	50–100
Среднезернистые пески	100–200
Крупнозернистые пески	200–400
Гравий, галечники и сильнотрещиноватые породы	400–600 и более

Наиболее достоверно радиус влияния определяется в процессе опытных откачек воды.

Приведенный радиус влияния ($R_{пр}$) вычисляют по формуле

$$R_{пр} = 1,5 \sqrt{at},$$

где t — время работы водозабора; a — коэффициент пьезопроводности в напорных или урвнепроводности в безнапорных водоносных пластах, м²/сут.

Из этой формулы следует, что $R_{пр}$ со временем возрастает пропорционально времени и, таким образом, характеризует неустановившееся движение. $R_{пр}$ депрессионных воронок крупных водозаборов, эксплуатирующих напорные воды, может достигать нескольких десятков километров.

§ 2. Приток воды к водозаборным скважинам

Движение подземных вод к скважинам в период откачки происходит в форме **радиального потока**. Объем воды, выдаваемой скважиной или другим водозаборным сооружением в единицу времени, называется **дебитом (производительностью)**, выражается в литрах в секунду или в кубических метрах в час, сутки. Расчетный дебит скважин определяют по формулам в зависимости от типа водоносного пласта (напорный или безнапорный), условий совершенства скважин (совершенные или несовершенные), взаимодействия скважин.

Дебит совершенных скважин. Совершенная скважина, питаемая безнапорными водами. Скважину или колодец, вскрывающие безнапорные (грунтовые) воды, называют **грунтовыми** (рис. 13.4).

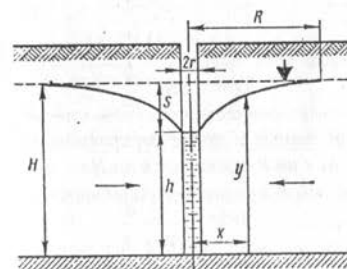


Рис. 13.4. Приток безнапорной воды к совершенной скважине:

H — мощность водоносного пласта, м; R — радиус воронки; r — радиус скважины; S — понижение уровня воды при откачке; h — высота непониженного столба воды в скважине

Определение величины водопритока в скважину возможно лишь при понижении в ней уровня воды. Это достигается искусственно с помощью откачки воды. Снизившийся вследствие откачки уровень подземных вод называют **динамическим**. Его положение определяется местом смыкания кривых депрессий у скважины. Первоначальный уровень подземных вод, т. е. уровень воды до откачки, называют **статическим**. Разность этих двух уровней, т. е. величина, на которую понижается уровень воды, называют **понижением (S)**.

При определении дебита совершенной скважины применяют закон Дарси

$$Q = k_{\phi} F I.$$

Площадь поперечного сечения потока (F) и напорный градиент (I) — величины переменные. Для их установления расположим координатные оси по поверхности водоупора (x) и по оси скважины (y) (рис. 13.4). Тогда площадь сечения потока, представляющая собой боковую поверхность цилиндра, будет равна

$$F = 2\pi x y.$$

Приток подземных вод к скважине через это сечение при напорном градиенте (уклоне депрессионной кривой) $I = \frac{dy}{dx}$ определится по закону Дарси

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

Разделим переменные и проинтегрируем полученное уравнение для x в пределах от r до R и для y от h до H :

$$2y dy = \frac{Q}{\pi k_{\phi}} \frac{dx}{x};$$

В результате интегрирования получаем уравнение:

$$y^2 = \frac{Q}{\pi k_{\phi}} \ln x + C,$$

где C — постоянная интегрирования;

В соответствии с указанными выше условиями можно написать следующие уравнения:

$$H^2 = \frac{Q}{\pi k_{\phi}} \ln R + C;$$

$$h^2 = \frac{Q}{\pi k_{\phi}} \ln r + C.$$

Из первого уравнения вычитаем второе и находим Q :

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

Подставив числовое значение π и заменив натуральные логарифмы десятичными, получим формулу в более удобном виде

$$Q = 1,366 k_{\phi} \frac{H^2 - h^2}{\lg R - \lg r}.$$

а так как $H - h = S$, то

$$Q = 1,366 k_{\phi} \frac{(2H - S)S}{\lg R - \lg r}.$$

Формула $Q = \frac{\pi k_{\phi} (H^2 - h^2)}{\ln R - \ln r}$ называется формулой Дюпюи и

применяется для расчета дебита совершенных скважин в безнапорных водах по заданному понижению S .

Совершенная скважина, питаемая напорными водами. Скважины, вскрывающие напорные воды, называют артезианскими (рис. 13.5, а).

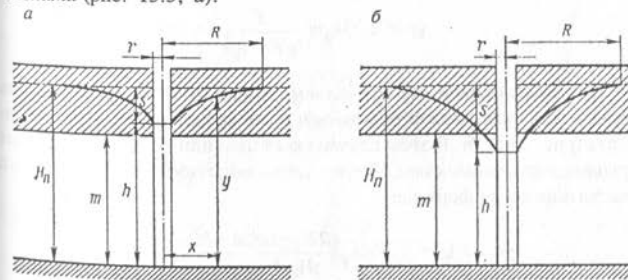


Рис. 13.5. Приток напорных вод:
а — к артезианской; б — грунтово-артезианской совершенной скважине; m — мощность напорного водоносного пласта; H_n — высота пьезометрического напора

Напорные воды притекают к артезианской скважине со всех сторон в пределах мощности водоносного пласта m . Под напором вода в скважине поднимается и устанавливается выше кровли водоносного горизонта. При откачке воды из артезианской скважины на величину S вокруг скважины образуется условная депрессионная воронка радиусом R , аналогичная воронке депрессии грунтового колодца.

Для определения дебита артезианской совершенной скважины применим тот же подход, что и в предыдущем случае, т. е. считаем, что $F = 2\pi r m$, а $I = \frac{dy}{dx}$, тогда, по закону Дарси,

$$Q = k_{\phi} F I = 2\pi r m k_{\phi} \frac{dy}{dx}$$

Группируем переменные и интегрируем полученное уравнение для x от r до R , а для y соответственно от h до H_n . Тогда получаем

$$Q = 2\pi k_{\phi} m \frac{H_n - h}{\ln R - \ln r}$$

Заменяя натуральные логарифмы десятичными, π — числовым значением и учитывая, что $H_n - h = S$, получим

$$Q = 2,73 k_{\phi} m \frac{S}{\lg R - \lg r}$$

При интенсивной откачке динамический уровень, т. е. уровень воды в скважине, может опуститься ниже кровли водоносного горизонта (рис. 13.5, б). В этом случае скважины или колодцы называют *грунтово-артезианскими*. Дебит таких водозаборных сооружений рассчитывают по формуле

$$Q = 1,366 k_{\phi} \frac{(2H_n - m)m - h^2}{\lg R - \lg r}$$

Теоретически дебит скважины должен быть максимален при полном осушении водоносного пласта в безнапорных водах или при снижении полной высоты пьезометрического напора в напорных водах, т. е. при $S = H$ или $S = H_n$. На практике, однако, таких понижений

уровня при откачках не добиваются, так как в скважине необходимо оставить столб воды для заглубления насоса, учесть потери напора и т. д. Кроме того, с увеличением S растет расход энергии, затрачиваемой на подъем воды, а сами насосы имеют предел высоты подъема. Таким образом, величина понижения уровня не должна выходить за пределы *максимально допустимого понижения уровня* $S_{\text{доп}}$, т. е. должно быть $S \leq S_{\text{доп}}$. Наиболее часто в практике изысканий принимают понижения от 2 до 15 м, реже более. Во всех случаях понижение уровня не должно превышать 0,5–0,7 полной мощности водоносного пласта.

Дебит несовершенных скважин. В несовершенных скважинах, т. е. вскрывающих водоносный пласт не на полную мощность, возникает дополнительное (в сравнении с совершенными скважинами) фильтрационное сопротивление при поступлении воды, поэтому дебит несовершенной скважины всегда меньше дебита совершенной скважины, пройденной в аналогичных условиях.

В практике гидрогеологических изысканий для водоснабжения наиболее частый случай, когда отношение длины фильтра к мощности водоносного пласта больше 0,1, т. е. $\frac{l}{H, m} > 0,1$. При этом условии

дебит несовершенных скважин можно определить по формулам Дюпюи для совершенных скважин с учетом поправки на несовершенство скважин:

для безнапорных вод

$$Q = 1,366 k_{\phi} \frac{(2H - S)S}{\lg \frac{R}{r} - 0,217\zeta}$$

для напорных вод

$$Q = 2,73 k_{\phi} m \frac{S}{\lg \frac{R}{r} - 0,217\zeta}$$

где Q — дебит несовершенной скважины; ζ — показатель дополнительного фильтрационного сопротивления, определяемый по специальным таблицам (Н. Н. Веригина и др.).

Удельный дебит скважин — дебит, который дает скважина на 1 м понижения воды, т. е. $q = Q / S$.

Если удельный дебит скважин превосходит $7,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ (или 2 л/с), считается, что скважина обладает достаточно хорошей водообильностью. Удельный дебит дает большую информацию о водообильности скважин, чем дебит. Например, дебиты скважин № 1 и № 2 могут быть равны между собой, т. е. $Q_1 = Q_2 = 5 \text{ м}^3/\text{сут}$, однако их удельные дебиты, а следовательно, и истинная водообильность могут существенно отличаться. Так, если в скважине № 1 понижение S при откачке составило 2 м, а в скважине № 2 — 10 м, то при равенстве дебитов удельные дебиты будут резко отличаться друг от друга (соответственно $2,5$ и $0,5 \text{ м}^3/\text{сут}$).

На основании формул Дюпюи удельный дебит скважины может быть выражен:

для безнапорных вод

$$q = \frac{\pi k_{\phi} (2H - S)}{\ln R - \ln r}$$

для напорных вод

$$q = \frac{2\pi k_{\phi} m}{\ln R - \ln r}$$

По С. А. Колю, при отсутствии фактических данных о величине радиуса влияния наиболее правильным будет ориентировочное его определение в зависимости от величины удельного дебита.

Удельный дебит, л/с	Радиус влияния R , м
Более 2,0	Более 300–500
2,0–1,0	100–300
1,0–0,5	50–100
0,5–0,33	25–50
0,33–0,2	10–25
Менее 0,2	Менее 10

§ 3. Приток воды к строительным котлованам

При расчете притока воды следует учитывать, что строительные котлованы могут быть совершенными (большая часть) и несовершенными, вскрывать напорные или безнапорные воды. Кроме того, понятно, что в плане строительные котлованы могут иметь различные конфигурации и размеры.

По внешнему виду все строительные котлованы условно можно разделить на «траншеи» и «большие колодцы». В первом случае это котлованы, для которых отношение длины котлована к его ширине более 10, во втором — менее 10.

Расчет притоков воды в котлованы типа «траншеи». Приток безнапорных вод к совершенному котловану типа «траншеи», расположенному нормально к водному потоку, может быть определен по формуле для определения расхода плоского потока подземных вод

$$Q = k_{\phi} B \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}$$

Примем следующие значения координат депрессионной поверхности (рис. 13.6, а):

$$l = R; h_1 = H; h_2 = h; B = L,$$

где R — радиус влияния депрессионной поверхности «траншеи», определяемый по формуле $R = 2S \sqrt{Hk_{\phi}}$;

- H — мощность водоносного слоя;
- h — глубина воды в котловане;
- L — длина котлована типа «траншеи».

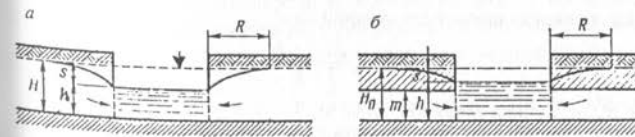


Рис. 13.6. Приток воды к строительным котлованам типа «траншеи»

Тогда для совершенного котлована типа «траншеи» приток безнапорных вод с двух сторон можно определить по формуле

$$Q = k_{\phi} L \frac{H^2 - h^2}{R}$$

Аналогичным образом рассчитывается и приток напорных вод (рис. 13.6, б):

$$Q = k_{\phi} L m \frac{H_n - h}{R}$$

Приток безнапорных вод к несовершенному (не доведенному до водоупора) котловану типа «траншеи» можно определить с учетом поправки на активную зону (рис. 13.7, по А. И. Силину—Бекчуруну). Величина активной зоны (H_0) определяется по формуле $H_0 = 1,3F$, где F — глубина воды в «траншее», отсчитываемая от статического уровня безнапорных (грунтовых) вод и равная $F = S + t$. Значения S и t показаны на рис. 13.7 и представляют собой: S — понижение уровня воды в «траншее» и t — глубина воды в «траншее» во время откачки.

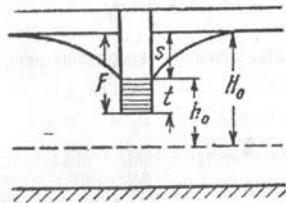


Рис. 13.7. Активная зона несовершенного строительного котлована типа «траншеи»

После внесения поправки на активную зону уравнение для расчета двустороннего притока безнапорных вод в несовершенный котлован типа «траншеи» примет следующий вид:

$$Q = k_{\phi} L \frac{H_0^2 - h_0^2}{R}$$

где H_0 — глубина активной зоны, м;
 h_0 — глубина воды в «траншее», отсчитываемая от подошвы активной зоны, м;

R — радиус влияния депрессионной поверхности, м, определяемый по формуле $R = 2S\sqrt{H_0 k_{\phi}}$.

Расчет притоков воды в котлованы типа «большого колодца». При вскрытии безнапорных (грунтовых) вод совершенным котлованом данного типа приток воды к нему может быть определен по формуле Дююи:

$$Q = 1,366 k_{\phi} \frac{H^2 - h^2}{\lg R - \lg r_0}$$

где r_0 — радиус равновеликого круга; остальные обозначения ясны из рис. 13.4.

Радиус равновеликого круга (r_0) определяют, исходя из соотношения $F = \pi r_0^2$, где F — площадь котлована, м². Тогда:

$$r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = 0,564 \sqrt{F}$$

§ 4. Строительное водопонижение и дренажи

Искусственное понижение уровня подземных вод для осушения водоносных пластов широко применяют в период строительства и эксплуатации 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 отоплении уже застроенной территории.

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 водопонизительным 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.

Водопонизительные дрены могут быть *совершенными* и *несовершенными*. В первом случае они прорезают весь осушаемый водоносный пласт, во втором — до водоупора не доходят.

Типы дренажей. В зависимости от конструкции водоприемных устройств и характера расположения их в толще грунтов различают горизонтальный, вертикальный и комбинированный дренаж.

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 5–6 м. Дренажные воды сбрасываются в открытые водные протоки или сеть ливневой канализации. Горизонтальный дренаж может быть *открытым* (осушительные каналы) и *закрытым* (трубчатые дрены в траншее). В закрытой траншее для предохранения дренажной трубы от заиливания вокруг нее устраивают обсыпку из нескольких слоев песка и гравия (рис. 13.8).

К разновидностям горизонтального дренажа могут быть отнесены и *лучевые водозаборы* с горизонтальными лучами-дренами, которые применяют на крупных водопонизительных 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 водопонизительных скважин, иглофильтровых установок, поглощающих скважин и открытого водоотлива. Общей их чертой является вертикальное расположение водоприемных устройств.

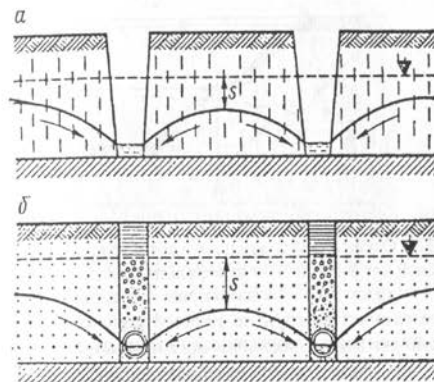


Рис. 13.8. Дренажные траншеи:
а — открытые; б — закрытые

Водопонизительные скважины оборудуют погружными насосами или всасывающими устройствами. Скважины располагают по контуру будущего котлована сооружения. Вокруг скважин при откачке воды образуются депрессионные воронки, которые, смыкаясь друг с другом, создают общее понижение подземных вод. Такие скважины применяются при k_{ϕ} не ниже 3–5 м/сут и относятся преимущественно к средствам глубокого водопонижения (свыше 15 м).

Иглофильтровые установки состоят из системы иглофильтров (тонких металлических труб длиной 7–9 м с фильтром на их нижних концах), которые устанавливают вокруг котлованов или вдоль траншей и присоединяют к всасывающему коллектору. Легкие иглофильтровые установки (ЛИУ) понижают уровень подземных вод на 4,5 м (одним ярусом) в песчаных грунтах с коэффициентом фильтрации от 1–2 до 40–50 м/сут (рис. 13.9). При глубоком водопонижении применяют два или три яруса установок. Для осушения тонкозернистых песков и супесей, плохо отдающих воду, с $k_{\phi} = 0,01 \div 1,0$ м/сут применяют *эжекторные иглофильтры*. С их помощью в водонасыщенном грунте создается вакуум, улучшается водоотдача и эффект водопонижения усиливается.

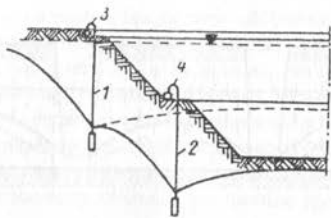


Рис. 13.9. Осушение строительного котлована двухъярусной иглофильтровой установкой: 1 — иглофильтр первого яруса; 2 — второго яруса; 3—4 — всасывающие коллекторы

Осушение глинистых грунтов текучей консистенции с $k_{\phi} < 0,1$ м/сут основано на *электроосмотическом явлении*. Под действием электротока вода вместе с положительно заряженными ионами перемещается от металлического штыря — анода к иглофильтру — катоду и затем откачивается.

Поглощающие скважины устраивают для понижения уровня путем сброса воды верхних водоносных горизонтов в нижние. Принимающий пласт должен иметь уровень ниже подошвы осушаемого пласта и быть достаточно водообильным.

Открытый водоотлив — наиболее простой и дешевый способ водопонижения (рис. 13.10). Однако при этом способе грунтовые воды могут вызвать обрушение и оплывание откосов котлованов, выпор и другие фильтрационные деформации грунтов, поэтому открытый водоотлив целесообразен лишь в устойчивых грунтах типа гравийно-галечных. В песчаных грунтах его необходимо сочетать с глубинным водопонижением, при котором откосы котлованов будут уплотняться.

В сложных гидрогеологических условиях целесообразно применение различных технических средств для водопонижения. Так, при наличии напорных и грунтовых вод снижение пьезометрического уровня подземных вод может быть достигнуто с помощью водопонижительных скважин или эжекторных иглофильтров, а снижение грунтовых вод — с помощью легких иглофильтровых установок или открытого водоотлива.

Комбинированный тип дренажа объединяет вертикальные и горизонтальные дрены.

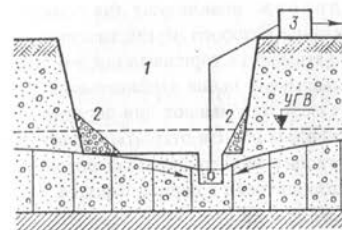


Рис. 13.10. Открытый водоотлив:
1 — котлован; 2 — пригрузка откосов; 3 — насос

Системы водопонижительных установок и дренажей. В зависимости от их расположения в плане по отношению зданий и сооружений различают линейные, кольцевые (контурные), площадные и точечные системы.

Рассмотрим первоначально применение различных систем в строительном водопонижении, т. е. при кратковременном характере водопонижения на период строительства.

Линейные системы водопонижительных установок используют для защиты вытянутых в плане выемок типа траншей.

Кольцевые (или контурные) системы водопонижительных установок 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 водопонижительных установок.

Площадные системы водопонижительных установок применяют для понижения уровня подземных вод в пределах всего осушаемого участка.

При длительном водопонижении (дренаж) системы дренажных устройств также классифицируются в зависимости от их расположения и назначения. Выделяют дренажи головной и береговой (линейные системы), кольцевой (контурные системы), систематический (площадные системы) и пластовый (точечные системы).

Головной дренаж используют для понижения уровня грунтового потока, питание которого осуществляется со стороны. Грунтовые воды перехватываются горизонтальными или вертикальными дренами, закладываемыми выше защищаемого участка (рис. 13.11). Береговой дренаж применяют для перехвата подземных вод в районах, расположенных вблизи открытых водотоков или водоемов. С его помощью отводят фильтрационный поток, движущийся в береговую зону со стороны реки в период паводка, при подъеме уровня воды в водохранилище и др.

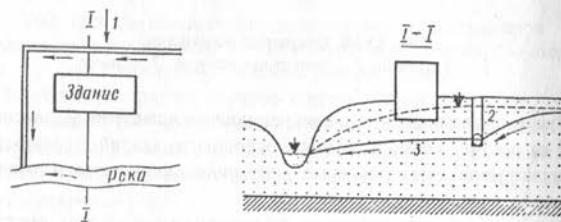


Рис. 13.11. Головной дренаж (план и разрез):
1 — направление потока грунтовых вод; 2 — головная дрена; 3 — сниженный уровень грунтовых вод

Кольцевой дренаж проектируют для борьбы с подтоплением отдельных сооружений с глубокими фундаментами, например, подземных емкостей (резервуаров). Он может обеспечить полный перехват воды по контуру защищаемого участка, снизить напоры и уровни подземных вод и тем самым предотвратить «всплытие» подземных емкостей при их опорожнении.

Систематический дренаж целесообразен для защиты от подтопления больших территорий путем равномерного осушения равнинного участка с неглубоким залеганием подземных вод. Систематический горизонтальный дренаж состоит из отдельных дрена, собирающих воду из грунта, и коллектора, отводящего воду за пределы дренируемого участка (рис. 13.12, а). Систематический вертикальный дренаж объединяет вертикальные дрена (рис. 13.12, б).

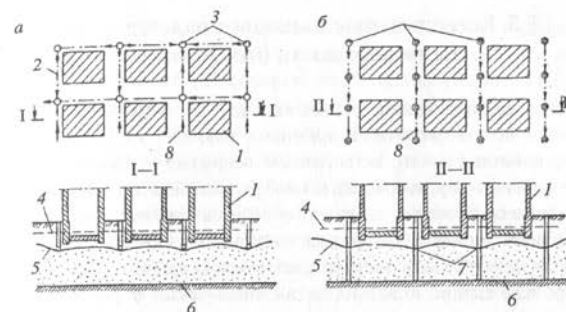


Рис. 13.12. Схема систематического дренажа:
а — горизонтального; б — вертикального: 1 — контур защищаемого сооружения; 2 — ось горизонтального дренажа; 3 — смотровые колодцы; 4 — неповышенный уровень грунтовых вод; 5 — пониженный уровень грунтовых вод; 6 — водоупор; 7 — вертикальные дрена; 8 — направление отвода дренажных вод

Пластовый дренаж представляет собой слой фильтрующего материала (песок, песчано-гравийные смеси, щебень), который укладывается в основании дренируемого сооружения или на откосах котлованов, карьеров (рис. 13.13). Вода из пластового дренажа отводится с помощью труб, лотков или канав.

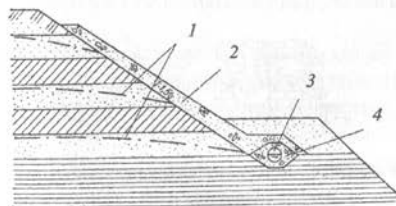


Рис. 13.13. Пластовый дренаж на откосах котлована:
1 — пониженные уровни подземных вод; 2 — песчаная пригрузка; 3 — дренажная труба; 4 — засыпка гравием

В условиях городской застройки обычно прибегают к устройству не одной, а нескольких систем дренажа.

§ 5. Естественные выходы подземных вод на поверхность (источники)

Естественный выход подземных вод на земную поверхность называют *источником* (или родником, ключом, криницей). В сущности, источник — это естественное вскрытие подземных вод. По А. М. Овчинникову, источники можно рассматривать как своеобразные природные сооружения, из которых ведется откачка воды.

Количество воды, которое дает источник в единицу времени, называется *дебитом* или *расходом источника* (л/с, м³/сут).

Происхождение источников, их химический и газовый состав, температура, дебит, постоянство существования весьма различны. Это объясняется разнообразием питающих их водоносных горизонтов, различиями в геологическом строении и геоморфологии районов.

Наибольший практический интерес представляет классификация источников по характеру их выхода на поверхность (гидродинамическому признаку), т. е. разделение их на нисходящие и восходящие (рис. 13.14).

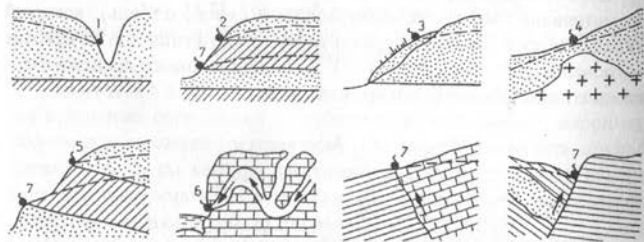


Рис. 13.14. Виды источников подземных вод (по П. В. Гордееву и др., 1990):

1–5 — нисходящие источники: 1 — эрозионные, 2 — контактные, 3 — эрозионные при подпоре делювием, 4 — барражные (при подпоре на глубине магматическими породами), 5 — переливающиеся; 6 — карстовые; 7 — восходящие источники

Нисходящие источники образуются при естественном выходе на дневную поверхность безнапорных вод (грунтовых, трещинно-грун-

товых и др.). Подземная вода к нисходящему источнику движется сверху вниз: от области питания к области дренирования, где она и выходит на поверхность. Источники этого типа встречаются в пониженных частях рельефа (речных долинах, оврагах, балках), а также в зоне контакта пород различной водопроницаемости.

Различают источники *сосредоточенные*, т. е. выходящие в одном месте, и *распределенные*, когда грунтовая вода выходит в виде отдельных источников вдоль склона оврага или речной долины.

Среди нисходящих источников для водоснабжения чаще всего используют источники карстовых и грунтовых вод.

Карстовые источники образуются при выходе подземных вод из трещин и полостей закарстованных пород. Дебит карстовых источников достигает огромных величин — нескольких кубических метров в секунду. Так, например, дебит источника Красный Ключ в долине р. Уфы равен 15 м³/с (в период снеготаяния 30–50 м³/с), в районе г. Гагры — 8 м³/с. Крупные карстовые источники имеются и в других карстовых районах.

Источники грунтовых вод образуются в основном эрозионным путем, т. е. при вскрытии грунтовых вод речными долинами, оврагами, балками или при подпруживании грунтового потока водоупорными породами. Дебит источников грунтовых вод обычно не превышает нескольких десятков м³/ч. Этого дебита бывает достаточно для удовлетворения потребностей в воде небольших предприятий и населенных пунктов.

Восходящие источники образуются при выходе на поверхность напорных вод. Чаще всего они приурочены к скальным трещиноватым породам. Движение воды к источникам направлено снизу вверх. Восходящий источник можно определить по колебанию в выходящей струе взвешенных песчинок, а также по выделению пузырьков воздуха и газов.

Восходящие источники являются очагами разгрузки артезианских, трещинно-жилльных, межмерзлотных и подмерзлотных вод.

Значительно реже встречаются восходящие карстовые источники.

Воды восходящих источников, имеющие лечебное значение, называются *бальнеологическими* или *минеральными*. Широко известны железистые источники Железноводска и Ижевска, углекислые

источники Ессентуков, Боржоми и Карловых Вар, сероводородные источники Пятигорска, Мацесты, Цхалтубо.

Источники с температурой более 80 °С (гейзеры) периодически фонтанируют в районах молодой вулканической деятельности (Камчатка, Исландия и др.) и используются для горячего водоснабжения и отопления.

Методы оценки пригодности источников для водоснабжения. Пригодность источников для практического использования оценивают по результатам продолжительных (не менее 1 года) наблюдений за изменением их дебита и качества. Для водоснабжения важно знать минимальный и максимальный дебиты источника, продолжительность времени с минимальными дебитами, коэффициент неравномерности дебита (K_n), представляющий собой отношение максимального за 1 год дебита к минимальному (табл. 13.2).

Таблица 13.2

Классификация источников по изменчивости дебита

Группа	Степень изменчивости дебита	Коэффициент неравномерности
I	Весьма постоянные	1
II	Постоянные	1-2
III	Переменные	2-10
IV	Весьма переменные	10-30
V	Исключительно непостоянные	Более 30

За расчетное значение дебита источника следует принимать минимальный дебит, установленный за годовой период наблюдений.

Нисходящие источники в целом отличаются значительной изменчивостью дебита под влиянием метеорологических и других факторов. Исключительно непостоянны дебиты карстовых источников (K_n до 500-600). Воды этих источников подвержены наибольшим колебаниям по составу и физическим свойствам (замутняемость, бактериальное и химическое загрязнение), поэтому при использовании карстовых источников для водоснабжения необходимы тщательная гидрогеологическая их оценка и строгий санитарный надзор.

Восходящие источники характеризуются более или менее постоянным дебитом, химическим составом и температурой.

Забор воды из источников осуществляется с помощью *каптажных сооружений* (водосборные камеры или неглубокие опусные колодцы) (рис. 13.15). Прием воды из восходящих источников производится через дно капотажной камеры, а нисходящих — через ее стенки. При выходе источника из рыхлых водоносных пород в стенке или дне камеры устраивают обратный фильтр из песчано-гравийного материала.



Рис. 13.15. Каптаж источника подземных вод

Глава 14. РЕЖИМ И БАЛАНС ПОДЗЕМНЫХ ВОД

§ 1. Режим подземных вод в естественных условиях

Режим подземных вод — это изменение во времени их уровня, химического состава, температуры и расхода.

В естественных условиях для подземных вод характерен ненарушенный (естественный) режим, который формируется в основном под влиянием метеорологических, гидрологических и геологических факторов.

Метеорологические факторы (осадки, испарение, температура воздуха, атмосферное давление) — основные в формировании режима грунтовых вод. Они вызывают сезонные и годовые (многолетние) колебания уровня, а также изменения химизма, температуры и расхода грунтовых вод.

Сезонные колебания уровня обусловлены неравномерностью выпадения осадков и изменениями температуры воздуха в течение года. Наиболее высокое понижение уровня приходится на периоды весеннего снеготаяния (весенний максимум) и осенних дождей (осенний максимум). Наиболее низкое положение уровня в годовом цикле отмечается в конце лета—начале осени и в конце зимы (рис. 14.1). Разность между наивысшим и наинизшим горизонтом подземных вод называют *максимальной амплитудой колебания уровня*.

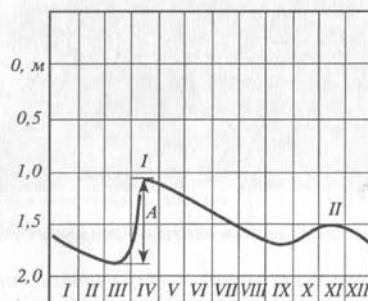


Рис. 14.1. Схема годового цикла сезонных колебаний уровня грунтовых вод: I — весенний максимум; II — осенний максимум; A — максимальная амплитуда колебаний уровня

Обычно амплитуды сезонных колебаний грунтовых вод не превышают 2,5–3,0 м, а максимальные составляет 10–15 м (в долинах горных рек, сложенных галечниками и закарстованными известняками).

Подъем уровня начинается лишь через некоторое время после выпадения осадков. Этот отрезок времени тем больше, чем меньше водопроницаемость пород и больше глубина залегания грунтовых вод.

Уровень грунтовых вод колеблется не только по сезонам, но и в многолетнем цикле. Многолетние колебания уровня связаны с ритмическими изменениями климата и приурочены к различным циклам, среди которых наиболее четко фиксируется 11-летний цикл. Амплитуды многолетних колебаний могут превышать амплитуды сезонных колебаний и достигать значительных размеров (до 8 м и более). Изучение многолетнего режима подземных вод необходимо для определения расчетной величины мощности водоносного горизонта, прогноза положения уровня на весь период длительной эксплуатации сооружений и т. д.

Гидрологический режим рек влияет на положение уровней подземных вод и их химизм в полосе шириной от 0,2–0,5 км (в песчано-глинистых отложениях) до 2–6 км в хорошо проницаемых породах. Колебания уровня подземных вод в речной долине с некоторым отставанием отражают колебания уровня реки.

В районах морских побережий уровень грунтовых вод изменяется под действием приливов и отливов.

Геологические факторы действуют на любом участке земной коры. С глубиной их значение увеличивается. Среди геологических факторов выделяют медленно действующие (колебательные тектонические движения, внутренняя теплота земного шара и др.) и эпизодические (землетрясения, вулканизм, оползни, грязевые вулканы).

В районах тектонических поднятий уровень подземных вод обычно снижается, так как породы лучше дренируются вследствие углубления эрозионных врезов (оврагов, долин). При опускании местности уровень грунтовых вод повышается. Изменяется и химизм воды. При землетрясениях появляются новые и исчезают старые источники, существенно меняется термический режим, химический и газовый состав подземных вод. Вулканические явления сопровождаются выделением огромного количества тепла, что приводит к резкому изменению температуры, химизма и уровня подземных вод. Изменения в режиме подземных вод часто фиксируются еще до начала землетрясения и извержения магмы, поэтому могут быть одним из критериев активизации их деятельности.

Режим артезианских, карстовых и надмерзлотных вод в естественных условиях существенно отличается от режима грунтовых вод. В сравнении с грунтовыми водами уровень и химический состав артезианских вод подвержены значительно меньшим изменениям. Влияние метеорологических и гидрологических факторов существенно лишь в областях питания и разгрузки, где артезианские воды гидравлически связаны с грунтовыми и поверхностными водами. В области напора пьезометрический уровень в скважинах колеблется под влиянием атмосферного давления, приливов и отливов, землетрясений и других факторов, вызывающих изменение упругого режима фильтрации.

Резкой изменчивостью уровня, химизма и расхода отличаются карстовые воды, залегающие в верхней части карстового массива. Амплитуды колебания их уровней изменяются от 0,5 до 30 м и более, расходы карстовых источников в течение года меняются от десятков литров до десятков кубометров в секунду, изменяется химизм воды.

Режим надмерзлотных вод в районах многолетней мерзлоты неустойчив и связан с интенсивностью промерзания и оттаивания мерзлых грунтов. Максимальные расходы надмерзлотных вод наблюдаются в период наибольшего оттаивания деятельного слоя, минимальные — в конце зимы до начала снеготаяния. Повышение уровня надмерзлотных вод в зимний период указывает на промерзание водоносного горизонта и образование напора.

§ 2. Режим подземных вод в условиях влияния техногенных факторов

Инженерно-строительная деятельность человека и другие техногенные причины изменяют естественные режимобразующие факторы и способствуют возникновению новых, в частности, так формируется *искусственный (или нарушенный) режим подземных вод*.

Деятельность человека может проявляться в повышении и в понижении уровня подземных вод, в изменении их химического состава, расхода и температуры. Основное внимание при инженерно-

геологических исследованиях уделяется изучению уровня режима подземных вод.

Повышению уровня подземных вод способствуют строительство водохранилищ и других искусственных водоемов, орошение, утечка воды из подземных сетей водонесущих коммуникаций, промышленных бассейнов, водохранилищ и т. д. Под влиянием искусственных (антропогенных) факторов уровни подземных вод могут подниматься на 10–15 м и более.

Особенно значительно обводняющее действие крупных водохранилищ. Так, уже через год после строительства Цимлянского водохранилища длиной 250 км и шириной до 20–30 км влияние подпора распространилось более чем на 6 км, а уровни грунтовых вод вблизи водохранилища поднялись на 5–7 м.

На орошаемых площадях вследствие просачивания оросительных вод уровень грунтовых вод повсеместно повышается. Это приводит к увеличению испарения грунтовых вод и повышению их минерализации, поэтому в нашей стране запрещено проектирование оросительных систем без применения дренажа.

В областях распространения лессовых пород на территориях жилых районов и особенно на участках промышленных сооружений уровень грунтовых вод с течением времени, как правило, повышается. Так, например, на территории завода Ростсельмаш в Ростове-на-Дону грунтовые воды за последние 45 лет поднялись на 18–20 м. Глубина залегания зеркала от поверхности земли в ряде случаев составляет 1–3 м. Это связано с утечкой воды из водопроводных и канализационных систем, уменьшением испарения воды вследствие застройки территории и т. д. Подобное явление, называемое подтоплением, будет подробно рассмотрено в главе 27, § 3.

Понижение уровня подземных вод вызывается длительными откачками воды для водоснабжения, осушением заболоченных земель, строительным водопонижением, дренажем и т. д.

Чем интенсивнее работы по отбору воды из недр земли, тем на большую глубину снижаются уровни подземных вод.

В ходе режимных наблюдений установлено снижение уровней в районах крупных водозаборов до 100 м и более.

Техногенные факторы интенсивно воздействуют и на качество подземных вод. В силу различных причин минерализация, химический и

бактериологический составы подземных вод с течением времени могут изменяться. В первую очередь это отражается на оценке подземных вод для питьевого водоснабжения.

Весьма специфично влияние техногенных факторов в районах многолетней мерзлоты. Практически любое сооружение, возводимое в этих районах (водохранилища, очистные сооружения и т. д.), резко изменяет температуру и влажность мерзлых грунтов и оказывает существенное влияние на режим верхних горизонтов мерзлотных вод.

§ 3. Баланс подземных вод

Под балансом подземных вод понимают соотношение между приходом и расходом подземных вод на данном участке за определенное время.

Режим и баланс подземных вод взаимосвязаны, и если первый отражает изменение количества и качества подземных вод во времени, то второй — результат этого изменения. Баланс может составляться для крупных территорий или для отдельных участков (поля орошения и фильтрации, групповые водозаборы и т. д.). Участки, где проводятся измерения прихода и расхода подземных вод, называют *балансовыми*.

С помощью баланса характеризуют водообеспеченность района и возможности ежегодного пополнения запасов подземных вод, изучают причины подтопления территорий, прогнозируют изменение уровня подземных вод.

Для решения этих вопросов необходимы данные о составляющих баланса: приходных и расходных.

Приходная часть баланса грунтовых вод под влиянием естественных режимобразующих факторов складывается из следующих составляющих (рис. 14.2): инфильтрации атмосферных осадков (A); конденсации водяных паров (K); подземного притока (Π).

Подземный приток в свою очередь включает боковой приток (Π_1), фильтрационные поступления из поверхностных водных источников (реки, озера) (Π_2) и переток из нижележащего водоносного горизонта (Π_3).

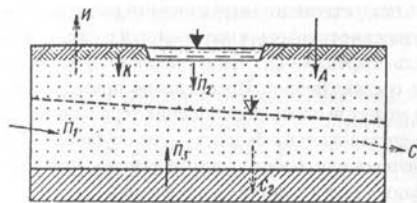


Рис. 14.2. Схема баланса грунтовых вод

Расходная часть баланса складывается из испарения (H) и подземного стока (C).

Испарение (H) включает расход воды за счет испарения с поверхности грунтовых вод и транспирации воды растительностью. Подземный сток (C) может быть представлен боковым оттоком (C_1) и перетоком в нижележащий водоносный горизонт (C_2).

Балансовое уравнение грунтовых вод для данного участка за время t имеет вид

$$\Delta W = A + K + \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 - H - C_1 - C_2,$$

где ΔW — изменение запасов грунтовых вод за время t .

Если на территории участка проводились режимные наблюдения за уровнем грунтовых вод, баланс грунтовых вод может быть выражен уравнением

$$\mu \Delta h = A + K + \Pi - H - C,$$

где Δh — среднее изменение уровня за время t ; μ — коэффициент водоотдачи (при Δh с минусом) и недостаток насыщения (при Δh с плюсом).

Величина $\mu \Delta h$ изменяется по сезонам и в многолетнем цикле. Она может быть положительной при подъеме уровня грунтовых вод и отрицательной при его опускании.

На балансовом участке могут быть выражены не все составляющие. Так, например, при глубоком залегании грунтовых вод из балансового уравнения исключается испарение (H), при отсутствии перетока воды через водоупор — члены C_2 и Π_3 .

В условиях искусственного (нарушенного) режима подземных вод в балансовое уравнение грунтовых вод вводятся расходы на водоснабжение (B), расходы в дренажи (D), фильтрация из оросительных каналов (Φ_2) и другие составляющие. Превышение прихода подземных вод над расходом может вызвать подтопление территории, при обратном соотношении составляющих баланса — ее осушение. Изучая баланс крупной территории или любого другого участка, можно регулировать режим подземных вод в нужном направлении.

Для решения балансовых уравнений применяют экспериментальные и расчетные методы. В первом случае все основные статьи баланса подземных вод определяют непосредственным измерением, во втором — их рассчитывают на основе режимных наблюдений, используя уравнения неустановившегося движения в конечных разностях (метод Г. Н. Каменского).

Глава 15. ЗАПАСЫ И РЕСУРСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Запасы подземных вод — это количество (объем) гравитационной воды, содержащейся в водоносных пластах (m^3). Подземные воды, пригодные для использования в различных целях, относятся к ценнейшим полезным ископаемым. В отличие от твердых полезных ископаемых они могут находиться в движении и периодически возобновляться.

Ресурсы подземных вод — это количество подземных вод, поступающих в водоносные пласты в единицу времени ($m^3/сут$), путем инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации из рек, перетекания из водоносных горизонтов и т. д.

Оценка запасов и ресурсов подземных вод имеет важнейшее значение для водоснабжения. Ни один водозабор не может быть построен и пущен в эксплуатацию без предварительного подсчета запасов подземных вод. Тип водозаборных сооружений, варианты их размещения, оптимальный режим работы и другие вопросы, связанные с использованием подземных вод для нужд водоснабжения, решаются на основе подсчитанных запасов подземных вод.

§ 1. Классификация запасов подземных вод по гидрогеологическим условиям

В настоящее время большинство исследователей подразделяют запасы подземных вод на естественные и эксплуатационные.

Естественные запасы подземных вод — это объем гравитационной воды, который содержится в водоносных пластах в естественных условиях (в статическом состоянии или в движении). Естественные запасы слагаются из статических, упругих и динамических запасов, т. е.

$$Q_{\text{ест}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{упр}} + Q_{\text{дин}}$$

Статические и упругие запасы (по Ф. М. Бочеву) характеризуют объем гравитационной воды в порах и трещинах водоносных пород в m^3 .

Упругие запасы — это количество воды, которое может быть извлечено из напорного водоносного пласта без его осушения за счет упругих свойств воды и горных пород при понижении уровня.

Под **динамическими запасами** или **естественными ресурсами** понимают расход подземных вод ($m^3/сут$), протекающих через водоносный пласт. Динамические запасы в процессе круговорота воды на Земле постоянно возобновляются.

Для их определения может быть использована известная формула Дарси

$$Q_{\text{дин}} = k_{\text{ф}} h_{\text{ср}} B I,$$

где $k_{\text{ф}}$ — коэффициент фильтрации пород, $m/сут$; $h_{\text{ср}}$, B и I — соответственно средняя мощность, ширина и уклон потока подземных вод.

Для вычисления динамических запасов используют также формулу с учетом величины модуля подземного стока

$$Q_{\text{дин}} = \gamma F_{\text{п}}$$

где γ — модуль подземного стока, $л/с$; $F_{\text{п}}$ — площадь области питания подземных вод, $км^2$.

Модуль подземного стока характеризует количество воды, которое стекает в реку в единицу времени с единицы площади водоносного горизонта. Его величина для различных районов страны варьирует от десятых долей литра до 15 л/с и более с 1 км² площади водоносного горизонта.

Эксплуатационные запасы подземных вод. При эксплуатации водозаборов естественные условия подземных вод нарушаются. Формируется новый тип запасов — эксплуатационные запасы.

Под эксплуатационными запасами следует понимать количество подземных вод, которое может быть получено в единицу времени из водоносного горизонта рациональными в технико-экономическом отношении водозаборами без прогрессирующего снижения дебита и динамических уровней и ухудшения качества воды в течение всего расчетного срока водопотребления.

В районах действующих водозаборов уровень подземных вод снижается, образуются депрессионные воронки. В благоприятных гидрогеологических условиях это может вызвать привлечение в эксплуатируемый водоносный горизонт дополнительных источников питания. В этом случае эксплуатационные запасы по своей величине могут превосходить естественные запасы за счет дополнительных или привлекаемых запасов подземных вод.

По Ф. М. Бочеву, дополнительное питание водоносного пласта при действии водозаборов может происходить за счет поступления воды из соседних областей питания.

В формировании эксплуатационных запасов существенную роль могут играть и искусственные запасы. Они создаются путем инфильтрации воды с поверхности земли при устройстве искусственных сооружений (инфильтрационные бассейны, оросительные системы, поглощающие скважины и т. п.).

В целом условия формирования эксплуатационных запасов подземных вод в районах водозаборов выражают следующим балансовым уравнением:

$$Q_{\text{экс}} = Q_{\text{дин}} + \frac{Q_{\text{ст}}}{T} + \frac{Q_{\text{упр}}}{T} + Q_{\text{доп}} + Q_{\text{иск}}$$

где $Q_{\text{дин}}$, $Q_{\text{ст}}$ и $Q_{\text{упр}}$ — используемые естественные (динамические, статические и упругие) запасы подземных вод; $Q_{\text{доп}}$ — дополнительные

или привлекаемые запасы в процессе эксплуатации; $Q_{\text{иск}}$ — искусственные запасы; T — расчетный срок водопотребления.

Для оценки эксплуатационных запасов подземных вод в районах водозаборов используют различные методы: гидродинамический, балансовый и др.

Оценить эксплуатационные запасы — это значит: определить дебит и понижение уровня подземных вод в период эксплуатации; рассчитать взаимодействие водозаборов; дать прогноз изменения качества подземных вод; обосновать наиболее рациональные в технико-экономическом отношении способы отбора воды.

§ 2. Классификация эксплуатационных запасов подземных вод по степени изученности

В зависимости от степени изученности и детальности выполненных гидрогеологических работ эксплуатационные запасы подземных вод подразделяются на четыре категории: A , B , C_1 и C_2 .

Категория A — запасы изучены и разведаны детально, полностью выяснены условия залегания и питания водоносных горизонтов, фильтрационные свойства пород, установлена связь с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами, а также возможность пополнения эксплуатационных запасов. Эксплуатационные запасы подземных вод на участке проектируемого водозабора определены по данным опытно-эксплуатационных или опытных откачек.

Категория B — запасы подземных вод изучены с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей условий залегания, питания и связи с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами. Эксплуатационные запасы определены по данным опытных откачек или по расчетной экстраполяции.

Категория C_1 — запасы разведаны и изучены в общих чертах. Эксплуатационные запасы определены по данным пробных откачек из единичных разведочных выработок, а также по аналогии с существующими водозаборами или примыкающими участками с категориями A и B .

Категория C_2 — запасы установлены на основании общих геолого-гидрогеологических данных, подтвержденных опробованием

водоносного горизонта в отдельных точках, либо по аналогии с разведанными участками.

Для отнесения запасов к той или иной категории необходима также качественная оценка подземных вод. Качество вод оценивается в зависимости от их назначения. Наиболее жесткие требования в отношении качества предъявляются к запасам вод, оцениваемым по категориям *A* и *B*.

На базе утвержденных запасов по категориям *A* и *B* производится проектирование и выделение капитальных вложений на строительство новых и реконструкцию действующих водозаборов. В отдельных случаях, когда установление эксплуатационных запасов подземных вод по категории *A* экономически нецелесообразно из-за весьма сложных геолого-гидрогеологических условий, допускается проектирование и строительство водозаборов по категории *B*.

Выявленные запасы по категориям C_1 и C_2 предназначаются для перспективного планирования использования подземных вод, обоснования бурения разведочных скважин на воду и т. п. Для перевода этих категорий в более высокую категорию *B* выполняют дополнительный объем гидрогеологических работ.

Глава 16. ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ИСТОЩЕНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Охрана подземных вод становится все более актуальной проблемой современности. В России охрана природных ресурсов, в том числе и охрана подземных вод от загрязнения и истощения, является одной из важнейших задач государства.

Использование, сохранение и воспроизводство природных ресурсов, включая и подземные воды, регламентируется и находится под контролем государственных организаций.

Основные мероприятия по охране подземных вод, проводимые в настоящее время, заключаются в предотвращении истощения подземных вод и охране подземных вод от загрязнения.

§ 1. Истощение запасов подземных вод

Под истощением запасов подземных вод следует понимать их сработку в процессе водоотбора без восполнения. Признаком истощения является прогрессирующее снижение динамических уровней эксплуатируемого водоносного горизонта, часто при постоянном расходе. В отличие от обычных процессов формирования депрессионной воронки падение уровней при истощении запасов с течением времени не только не уменьшается, но нередко и увеличивается. Сниженные уровни подземных вод после прекращения водоотбора не восстанавливаются в течение ряда лет.

Причина истощения запасов подземных вод заключается в чрезмерном отборе подземных вод крупными водозаборами в условиях недостаточной обеспеченности питанием эксплуатируемого водоносного горизонта.

Под влиянием длительной эксплуатации водозаборов подземных вод вокруг них образуются огромные депрессионные воронки, так называемые районные депрессии, с наибольшим понижением в центре.

Практически во всех крупных промышленных городах мира и во многих городах России (Москва, Санкт-Петербург, Курск и др.), где напорные воды длительное время эксплуатируются групповыми водозаборами, возникли значительные районные депрессии подземных вод с радиусами до 20 км и более. Так, например, усиление водоотбора подземных вод в Москве привело к формированию огромной районной депрессии с глубиной до 70–80 м, а в отдельных районах города до 110 м. Пьезометрический уровень подземных вод в среднем снижается до 3–5 м в год.

Истощению подземных вод способствует также неконтролируемый бесхозяйственный самоизлив артезианских вод из скважин, достигающий многих тысяч кубических метров в сутки.

Меры борьбы с истощением запасов пресных подземных вод. Для предотвращения истощения запасов предусматривают разнообразные меры, в том числе: регулирование режима водоотбора подземных вод; более рациональное размещение водозаборов по площади; введение кранового режима эксплуатации самоизливающихся скважин и т. д.

В последние годы для предотвращения истощения подземных вод все чаще применяют искусственное пополнение их запасов. Этот метод, по мнению многих ученых, даже при интенсивном отборе подземных вод позволит более рационально использовать геологические ресурсы и осуществлять охрану подземных вод.

Сущность искусственного пополнения запасов заключается в переводе поверхностного стока в подземный. Пополнение осуществляется путем инфильтрации поверхностной (сырой) воды в водоносные пласты. Подземные воды получают при этом дополнительное питание, что позволяет увеличивать производительность водозаборов без истощения естественных запасов. При использовании этого метода возможно частично (или полностью) отказаться от строительства специальных водоочистительных сооружений, так как «сырая» вода при инфильтрации через толщу грунтов освобождается от бактериального загрязнения, становится более чистой и более высокого качества.

Общая схема работ по искусственному пополнению заключается в следующем. Вода из поверхностных источников (реки, озера, водохранилища) подается к инфильтрационным сооружениям, построенным в районе водозаборов (рис. 16.1). Из одних сооружений (бассейны, каналы и др.) «сырая» вода свободно инфильтруется, из других (скважины, колодцы) нагнетается в водоносные пласты, где смешивается с подземными водами. Водозабор из источников пополнения осуществляется с помощью скважин, шахтных колодцев и лучевых водозаборов.

Запасы пополняются искусственно не только на участках действующих водозаборов, но и в районах с ограниченными водными ресурсами для создания сезонных или многолетних емкостных запасов подземной воды, так называемое *магазинирование поверхностных вод*.

Возможность и целесообразность искусственного пополнения подземных вод определяются комплексом факторов (природных, технических, санитарных и др.), среди которых важное значение имеют геолого-гидрогеологические условия. Для успешного применения метода необходимо, чтобы в районе строительства имелся достаточно мощный (не менее 10–20 м), хорошо проницаемый (k_f не менее 3–5 м/сут) и фильтрационно однородный (без слабопроницаемых прослоев) водоносный пласт. Зона аэрации должна иметь мощность

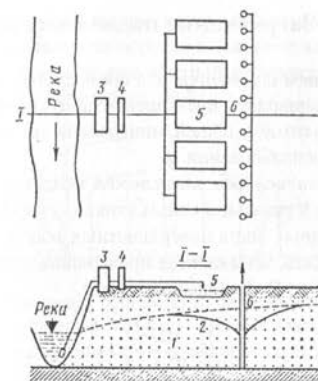


Рис. 16.1. Схема искусственного пополнения подземных вод:
1 — водоносные пески; 2 — депрессионная воронка; 3 — насосная;
4 — здания для очистки воды; 5 — инфильтрационные бассейны;
6 — водозаборные скважины

не менее 5–8 м (лучше 10–15 м) и быть достаточно проницаемой для инфильтрации «сырой» воды.

При небольшой мощности зоны аэрации очистное и барьерное действие грунтов в отношении загрязненных поверхностных вод может оказаться недостаточным.

Наиболее благоприятны для размещения инфильтрационных сооружений долины рек, конуса выносов предгорных равнин, морские побережья, сложенные хорошо проницаемыми песчаными, песчано-гравийными и галечными отложениями. Вполне возможно и необходимо искусственное пополнение запасов подземных вод в суровых районах Крайнего Севера, где в зимний период промерзают как поверхностные, так и частично подземные источники воды. В этих районах целесообразно применение метода инфильтрации поверхностных вод через поглощающие скважины.

Инфильтрационные сооружения для пополнения запасов подземных вод созданы и успешно эксплуатируются во многих районах России.

§ 2. Загрязнение подземных вод

Под загрязнением подземных вод понимают такие изменения их качества, которые приводят к превышению допустимых концентраций отдельных компонентов и общей минерализации воды и делают ее непригодной для использования.

Основными источниками загрязнения подземных вод являются бассейны бытовых и промышленных стоков, участки складирования отходов, загрязненные воды поверхностных водоемов, неисправная канализационная сеть, избыточное применение удобрений и ядохимикатов (рис. 16.2 по П. В. Гордееву и др.).

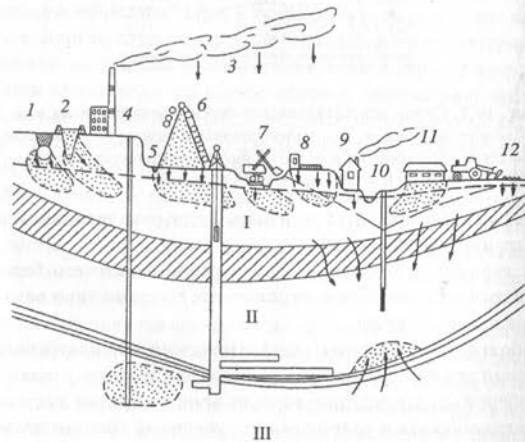


Рис. 16.2. Источники загрязнения подземных вод:
 I — грунтовые воды; II — напорные пресные воды; III — напорные соленые воды; 1 — канализационные коллекторы; 2 — хвостохранилища;
 3 — дымовые и газовые выбросы; 4 — подземное захоронение стоков;
 5 — шахтные воды; 6 — терриконы; 7 — карьерные воды; 8 — заправочные станции; 9 — бытовое загрязнение; 10 — водозабор, подтягивающий соленые воды; 11 — объекты животноводства; 12 — внесение удобрений и пестицидов

К естественным источникам загрязнения относят сильно минерализованные подземные или морские воды, которые могут внедряться в продуктивный пресный водоносный горизонт при эксплуатации водозаборных сооружений (рис. 16.3).

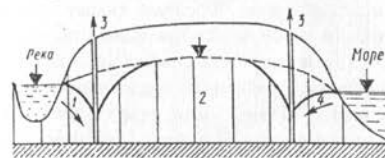


Рис. 16.3. Внедрение естественных источников загрязнения:
 1 — загрязненные речные воды; 2 — пресный водоносный горизонт;
 3 — водозаборы; 4 — соленые морские воды

Загрязненные растворы могут проникать к подземным водам различными путями: при фильтрации промышленных стоков из хранилищ и отстойников через зону аэрации, по затрубному пространству неисправных скважин, через поглощающие скважины, карстовые воронки, провалы и др.

Возможность загрязнения подземных вод во многом определяется геолого-гидрогеологическими условиями района, а именно: наличием или отсутствием перекрывающих слабоводопроницаемых пород, их фильтрационными и поглощающими (сорбционными) свойствами, глубиной залегания подземных вод и т. д.

Грунтовые воды и в особенности верховодка более всего подвержены загрязнению, так как они не защищены сверху толщей водоупорных пород от проникновения загрязняющих веществ. Артезианские воды загрязняются в значительно меньшей мере, преимущественно при сбросе сточных вод через систему поглощающих скважин.

При отсутствии водонепроницаемых покровных пород интенсивно загрязняются трещинные и карстовые воды. Очищающая способность трещиноватых и закарстованных пород значительно хуже, чем пород с высокой сорбционной емкостью (суглинки и пр.), поэтому в них загрязненные растворы распространяются на большие расстояния.

Наиболее часто встречается химическое и бактериальное загрязнение подземных вод. Значительно реже наблюдается радиоактивное, механическое и тепловое загрязнение.

Химическое загрязнение — наиболее распространенное, стойкое и далеко распространяющееся. Оно может быть органическим (фенолы, нафтеновые кислоты, ядохимикаты и др.) и неорганическим (соли, кислоты, щелочи, токсичным (мышьяк, соли цинка, ртути, свинца и др.) и нетоксичным. Вредные химические вещества при фильтрации в пласте сорбируются частицами пород, окисляются и восстанавливаются, выпадают в осадок и т. д., однако, как правило, полного самоочищения загрязненных вод не происходит. Наибольшее распространение (до 10 км и более) очаг химического загрязнения достигает в сильно проницаемых грунтах и при значительных уклонах подземного потока, т. е. при хорошем оттоке подземных вод.

Бактериальное загрязнение выражается в появлении в подземных водах патогенных бактерий, вирусов (до 700 видов), простейших и др. Этот вид загрязнения носит временный характер. Его интенсивность зависит от величины начального загрязнения, водопроницаемости грунтов и времени выживания бактерий и вирусов.

Весьма опасно содержание в подземных водах, даже при очень малых концентрациях, радиоактивных веществ, вызывающих радиоактивное загрязнение. Наиболее вредны «долгоживущие» радиоактивные элементы, обладающие повышенной способностью к передвижению в подземных водах (стронций-90, уран, радий-226, цезий и др.). Радиоактивные элементы могут проникать в подземные воды как в результате их взаимодействия с радиоактивными горными породами, так и при выпадении на поверхности земли радиоактивных продуктов и отходов.

Механическое загрязнение характеризуется попаданием в подземные воды механических примесей, содержащихся в сточных водах (песок, шлак и др.), преимущественно по крупным трещинам и пустотам. Механические примеси могут значительно ухудшать органолептические показатели подземных вод.

Тепловое загрязнение связано с повышением температуры подземных вод в результате их смешивания с более нагретыми поверхностными или технологическими сточными водами.

Меры борьбы с загрязнением подземных вод. Для предотвращения загрязнения подземных вод разрабатывают инженерные мероприятия, включающие очистку сточных вод, создание безотходных производств, экранирование чаш бассейнов, перехват профильтрова-

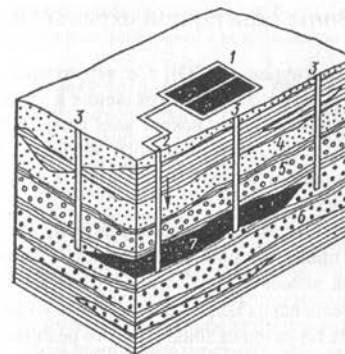


Рис. 16.4. Схема «захоронения» промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты (по Н.В. Тарасовой):
1 — емкость; 2 — нагнетательная скважина; 3 — наблюдательные скважины;
4-6 — зоны водообмена; 7 — закачанные промышленные стоки

шихся стоков дренажем и др. Особо токсичные сточные воды закачивают через скважины в глубокие водоносные горизонты (рис. 16.4), в массивы каменной соли и др. Однако этот метод не совершенный, т. е. возможно проникновение загрязненных вод в вышележащие водоносные горизонты через каверны в обсадных трубах и по затрубным пространствам нагнетательных скважин.

При выборе мест заложения водозаборов последние должны располагаться выше по потоку подземных вод относительно возможных участков загрязнения. Водозаборы не следует размещать близко к реке или к морю во избежание подтока загрязненных речных или соленых морских вод. Не рекомендуется размещать водозаборы вблизи промышленных предприятий и сельскохозяйственных территорий со значительными утечками сточных вод.

Важнейшей мерой предупреждения загрязнения вод в районе водозаборов является устройство вокруг них *зон санитарной охраны*.

§ 3. Зоны санитарной охраны (ЗСО)

Зоны санитарной охраны (ЗСО), т. е. территории с особым режимом, исключающие возможность загрязнения и ухудшения качества подземных вод, устанавливаются вокруг всех водозаборов, эксплуатирующих подземные воды для питьевого водоснабжения. Согласно санитарным правилам и нормам (СанПиН 2.1.4.1110-02), состоят они из трех поясов.

Первый пояс, или зона строгого режима, включает участок, непосредственно примыкающий к водозабору. Граница зоны проходит на расстоянии не менее 30 м от водоприемных сооружений при эксплуатации артезианских вод и не менее 50 м — при эксплуатации грунтовых вод. На территории зоны строгого режима запрещаются, в частности, все виды строительства, размещение хозяйственно-бытовых зданий, закладка карьеров для добычи песка, бурение скважин, проходка шурфов и других выработок, не связанных с эксплуатацией водозабора. Территория первого пояса ЗСО должна быть ограждена и обеспечена охраной.

Второй и третий пояса, или **зоны ограничений**, охватывают территории, на которых ограничивается производственная и хозяйственная деятельность человека для защиты эксплуатируемого водоносного горизонта от загрязнения.

Второй пояс ЗСО предназначен для защиты водоносного пласта от микробных (бактериальных) загрязнений. Граница этого пояса определяется гидродинамическими расчетами, исходя из условий, что микробное загрязнение не достигает водозабора. Запрещается размещение кладбищ, скотомогильников, силосных траншей, животноводческих и птицеводческих предприятий и других объектов, которые могут создавать угрозу микробного загрязнения. Кроме того, ограничиваются земляные, строительные и другие работы. Особенно строгие меры ограничения вводятся при охране водозаборов, эксплуатирующих недостаточно защищенные подземные грунтовые, а также напорные и безнапорные межпластовые воды, имеющие непосредственную гидравлическую связь с открытыми водоемами.

Третий пояс ЗСО защищает эксплуатируемый водоносный пласт от химического загрязнения. Его границы также определяются гидродинамическими расчетами. Расчеты должны подтвердить, что

время продвижения химических загрязнений будет больше расчетного срока службы водозабора (обычный срок эксплуатации водозабора 25–50 лет).

На территории третьего пояса ЗСО запрещается размещение складов горюче-смазочных материалов, ядохимикатов и минеральных удобрений, шламохранилищ и других объектов, которые могут вызвать химическое загрязнение подземных вод.

Любое новое строительство на территории второго и третьего поясов ЗСО возможно лишь при обязательном согласовании с центром государственного санитарно-эпидемиологического надзора. Соблюдение указанных выше санитарных правил обязательно для граждан, индивидуальных предпринимателей и юридических лиц.

Следует подчеркнуть, что загрязнение подземных вод негативно сказывается и на состоянии поверхностных вод, атмосферы, почв, других компонентов природной среды. Например, загрязняющие вещества, находящиеся в подземных водах, могут выноситься фильтрационным потоком в поверхностные водоемы и загрязнять их. По современным представлениям, круговорот загрязняющих веществ в системе поверхностных и подземных вод предопределяет единство природоохранных и водоохранных мер и их нельзя разрывать. В противном случае меры по охране подземных вод вне связи с мерами по защите других компонентов природной среды будут неэффективными.

ОСНОВЫ ГРУНТОВЕДЕНИЯ

Глава 17. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ГРУНТОВЕДЕНИЯ

Грунтоведение — один из основных разделов инженерной геологии, который изучает состав, строение и свойства грунтов, закономерности их формирования и изменения в процессе инженерно-строительной деятельности человека.

По Е.М. Сергееву (1988), под **грунтами** следует понимать любые горные породы, почвы и техногенные образования, которые залегают в верхней части земной коры, представляют собой многокомпонентную динамичную систему и используются в качестве основания зданий и инженерных сооружений, материала для сооружений (насыпей, плотин и др.) или среды для размещения подземных сооружений (тоннелей, трубопроводов и др.).

Грунты — это горные породы, почвы и техногенные образования, вовлеченные в строительство. Изучение их как объектов инженерно-строительной деятельности человека и составляет предмет грунтоведения. Важнейшее значение при этом имеет изучение состава и свойств грунтов, так как именно данные о них в первую очередь необходимы для расчетов, связанных с проектированием любых сооружений и разработкой систем инженерной защиты территории и строительных объектов.

Грунтоведение в нашей стране всегда считалось наукой геологического цикла, так как изначально базировалось на генетическом подходе к грунтам, который учитывает их происхождение (генезис) и условия формирования. Основным тезисом генетического грунтоведения гласит, что **свойства грунтов определяются их составом и структурой, формируются в процессе генезиса и изменяются под влиянием постгенетических процессов.**

Подразделение грунтов (горных пород) на три основных генетических типа: магматические, осадочные и метаморфические — является первым шагом к созданию их классификации на генетической основе. Более дробное подразделение грунтов, необходимое как с инженерно-геологических, так и со строительных позиций, осуществлено в виде классификации грунтов по ГОСТу 25100-95, содержание которой будет рассмотрено ниже.

Наиболее полные и достоверные данные при изучении грунтов могут быть получены лишь при сочетании лабораторных и полевых методов исследования. В лабораториях на отдельных образцах можно изучать «микромир» грунтов, т. е. взаимосвязь между его отдельными микрокомпонентами, в полевых условиях — свойства уже самих массивов грунта.

По современным представлениям, основной задачей грунтоведения является изучение горных пород, почв и техногенных образований как грунтов от микроуровня до массива с целью рационального освоения геологической среды и решения разнообразных инженерно-строительных задач.

Глава 18. СОСТАВ И СТРОЕНИЕ ГРУНТОВ

§ 1. Грунт как многокомпонентная динамичная система

В общепринятом определении понятия «грунт» заложено понимание его как многокомпонентной динамичной системы. В соответствии с этим определением в грунтах можно выделить четыре компоненты (фазы):

твердую — минеральная часть грунта, твердое органическое вещество;

жидкую — вода, заполняющая промежутки между твердыми минеральными частицами;

газовую — газы в пустотах грунта;

биотическую (живую) — микроорганизмы и другие живые организмы.

Суммарный объем многокомпонентной системы грунта (V_{tot}) складывается из объемов: твердой минеральной части (V_{sk}), жидкого компонента (V_{w}), газовой фазы (V_{a}) и биотической (живой) составляющей (V_{b}):

$$V_{\text{tot}} = V_{\text{sk}} + V_{\text{w}} + V_{\text{a}} + V_{\text{b}}$$

В зависимости от соотношения в грунтах различных компонент различают четырех-, трех-, двух- и однокомпонентные системы (рис. 18.1, по Е.Г. Чаповскому).

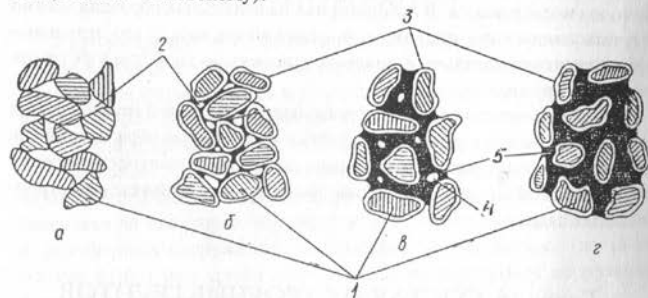


Рис. 18.1. Схема составных частей грунта:

а — абсолютно сухая порода (однокомпонентная система); *б* и *в* — трехкомпонентные системы; *г* — двухкомпонентная система; *1* — зерна породы (скелет); *2* — воздух; *3* — пленка связанной воды; *4* — заземленные пузырьки воздуха; *5* — вода

Почва, например, представляет собой четырехкомпонентную систему (минеральные частицы + вода + газы + гумус), глинистый грунт — трехкомпонентную (минеральные частицы + вода + газы), полностью водонасыщенный грунт — двухкомпонентную (минеральные

частицы + вода). В природных условиях однокомпонентные системы практически отсутствуют, так как даже в таких грунтах, как гранит, песчаник и др., благодаря наличию микропор и волосных трещин, может содержаться воздух либо вода.

Соотношение твердой, жидкой, газовой и биотической компонент имеет важнейшее значение, так как во многом определяет состав, состояние и свойства грунтов. Следует учитывать, что на эти параметры влияет не только относительное содержание отдельных компонент грунта, но и характер взаимодействия между ними. Он может иметь как химическую природу (окисление, растворение и др.), так и физико-химическую (ионный обмен, образование двойного электрического слоя и др.).

Важно подчеркнуть также, что грунт не только многокомпонентная система со сложным взаимодействием между отдельными его составляющими элементами, но и весьма динамичная система. Грунт — это не застывшая система. Под влиянием природных и техногенных факторов его состав, строение и свойства могут существенно изменяться во времени. Это важнейшее положение необходимо учитывать при оценке поведения грунтов как при строительстве, так и в период эксплуатации объектов.

§ 2. Твердая компонента грунта. Минеральный, химический и гранулометрический состав

Для характеристики твердой компоненты грунта определяют его минеральный, химический и гранулометрический состав.

Минеральный (или минералогический) состав грунтов. Твердая компонента грунтов состоит из первичных и вторичных минералов (частиц). **Первичные**, или породообразующие, минералы (кварц, слюды, полевые шпаты и др.) образуют скелет грунта. **Вторичные** (глинистые минералы, оксиды и гидроксиды железа и алюминия и др.) минералы, образовавшиеся в результате различных физико-химических процессов, выполняют роль цементирующего вещества. Они оказывают огромное влияние на инженерно-геологические свойства глинистых грунтов. Особенно это относится к глинистым

минералам (гидрослюда, каолинит, монтмориллонит и др.), которые отличаются исключительно высокой дисперсностью (размер частиц менее 1 мкм) и гидрофильностью (особенно минералы типа монтмориллонита).

К группе вторичных минералов относятся и простые минералы — соли, растворимые в воде. Среди них выделяют: легкорастворимые — галит, мирабилит, бишофит и др.; среднерастворимые — гипс, ангидрит и труднорастворимые — кальцит, доломит, магнезит и др.

Для инженерно-геологических целей важной является также классификация минералов по их устойчивости к разрушительным процессам выветривания. К весьма устойчивым относят кварц, циркон, магнетит и др.; к среднеустойчивым — полевые шпаты, слюды, хлорит, пироксены и др.; к слабоустойчивым — гипс, галит, ангидрит, лимонит и другие минералы.

В некоторых грунтах, преимущественно глинистых, как в рассеянном виде, так и в форме концентрированных скоплений (торф и др.) могут содержаться органическое вещество и органоминеральные комплексы.

Твердая компонента грунта может быть представлена и льдом в виде мелких кристаллов, равномерно распределенных в грунте, или более или менее крупных линз (прослоев) (многолетнемерзлые грунты).

Химический состав грунтов может быть определен с помощью валового (общего) химического анализа, который показывает содержание в грунте различных оксидов: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O и др. В инженерно-геологических целях этот вид анализа применяется сравнительно редко (диагностика состава глинистых минералов и др.). Значительно чаще для характеристики химического состава засоленных грунтов используют водные вытяжки (для легкорастворимых солей) и солянокислые (для средне- и труднорастворимых солей). Эти анализы важны, так как присутствие в грунте, например, легкорастворимых солей оказывает значительное влияние на их свойства.

Гранулометрический (зерновой, механический) состав показывает содержание в грунте твердых частиц того или иного размера, выраженное в процентах к массе абсолютно-сухого грунта.

Гранулометрический состав определяют только для крупнообломочных, песчаных и глинистых грунтов. Помимо классификационной характеристики данные о гранулометрическом составе используют для оценки пригодности грунтов в качестве материала для отсыпки насыпей, земляных плотин, составления оптимальных дорожных смесей грунта, выбора оптимальных отверстий для фильтровых колонн и др.

В понятие «гранулометрический состав» входит определение количественного содержания в грунте только первичных частиц (не сцепленных в микроагрегаты). Поэтому в процессе подготовки грунта к анализу природные микроагрегаты разрушают и разделяют их на первичные частицы. Таким образом, гранулометрический состав характеризует не естественную, а предельную дисперсность (степень раздробленности), которая постоянна для данного грунта и может служить классификационным показателем.

Для более полного представления о дисперсности грунта и характере структурных связей определяют и его микроагрегатный состав, который показывает количественное содержание в природном грунте твердых водостойких микроагрегатов.

Определение гранулометрического (зернового) состава по ГОСТу 12536–79 производят путем разделения грунта на фракции, т. е. на группы частиц с близкими по величине размерами, и установлением их процентного содержания (табл. 18.1).

Таблица 18.1

Основные гранулометрические фракции

Стандарт	Фракции, мм			
	Крупнообломочная	Песчаная	Пылеватая	Глинистая
ГОСТ 25100-95	Более 2	2–0,05	0,05–0,005	Менее 0,005

Гранулометрический анализ песчаных грунтов выполняют путем последовательного их рассеивания на ситах с отверстиями диаметром 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25 и 0,10 мм. Основным методом гранулометрического анализа глинистых грунтов, выполняемым в инженерно-стро-

тельной практике, является ареометрический. Метод основан на определении плотности глинистой суспензии через определенные промежутки времени с помощью стеклянной трубки — ареометра. Расчет диаметра частиц и процентного содержания фракций производится по специальной номограмме с учетом показаний ареометра, температуры суспензии и др.

Наиболее распространенной и общепринятой классификацией песчано-глинистых грунтов является видоизмененная трехчленная классификация В. В. Охотина (табл. 18.2).

Таблица 18.2

Классификация песчано-глинистых грунтов по гранулометрическому составу

Наименование грунта	Содержание фракций, %		
	глинистых (< 0,005 мм)	пылеватых (0,005–0,05 мм)	песчаных (0,05–2 мм)
Глина	Более 30	Меньше, чем песчаных	Больше, чем пылеватых
Глина пылеватая	Более 30	Больше, чем песчаных	Меньше, чем пылеватых
Суглинок: тяжелый	30–20	Меньше, чем песчаных	Больше, чем пылеватых
тяжелый пылеватый	30–20	Больше, чем песчаных	Меньше, чем пылеватых
средний	20–15	Меньше, чем песчаных	Больше, чем пылеватых
средний пылеватый	20–15	Больше, чем песчаных	Меньше, чем пылеватых
легкий	15–10	Меньше, чем песчаных	Больше, чем пылеватых
легкий пылеватый	15–10	Больше, чем песчаных	Меньше, чем пылеватых
Супесь	10–3	Меньше, чем песчаных	Больше, чем пылеватых
Супесь пылеватая	10–3	Больше, чем песчаных	Меньше, чем пылеватых
Песок	Менее 3	Преобладание песчаных частиц над пылеватыми	

Из табл. 18.2 следует, что песчано-глинистые грунты по содержанию частиц < 0,005 мм (в %) делятся на четыре основных вида: глина > 30; суглинок 30–10; супесь 10–3 и песок < 3.

Результаты гранулометрического анализа грунтов представляются в виде таблиц и различных графиков, из которых чаще всего используются треугольные диаграммы (рис. 18.2) и интегральные (или суммарные) кривые.

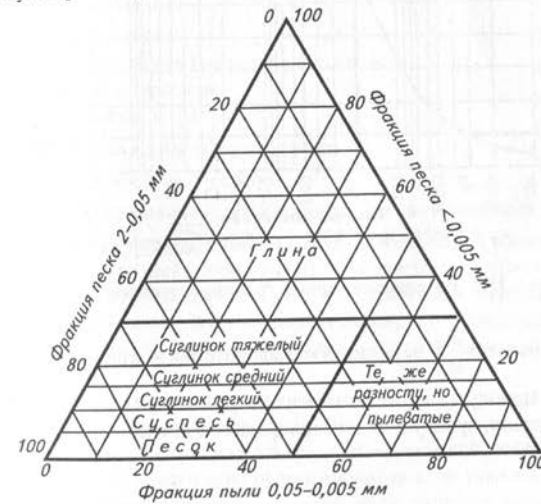


Рис. 18.2. Диаграмма гранулометрического состава

Интегральные кривые гранулометрического состава, выполненные в полулогарифмическом масштабе (рис. 18.3), позволяют находить действующий (эффективный) диаметр (d_{10}), т. е. такой размер частиц, меньше которого в грунте содержится 10% всех частиц, а также средний диаметр (d_{60}), меньше которого в грунте содержатся 60% всех частиц.

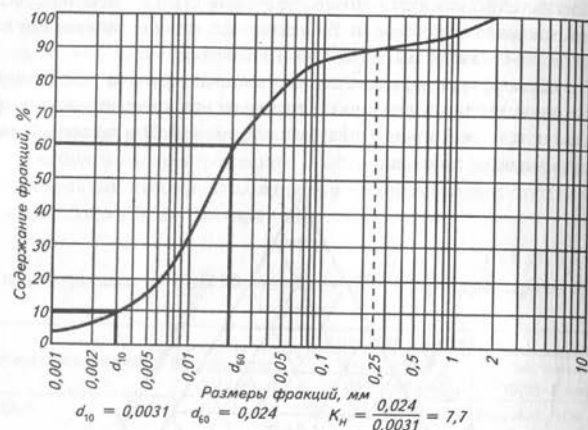


Рис. 18.3. Интегральная кривая гранулометрического состава

Отношение $\frac{d_{60}}{d_{10}}$ называется коэффициентом неоднородности грунта (K_n). При $K_n \leq 3$ грунт считается однородным по гранулометрическому составу, при $K_n > 3$ — неоднородным, плохо отсортированным (ГОСТ 25100-95).

§ 3. Жидкая компонента грунта. Виды воды в грунтах

Жидкая компонента (вода и водные растворы) — наиболее изменчивая и динамичная компонента грунта. Находясь в постоянном взаимодействии с другими компонентами грунта — твердой, газовой и биотической (живой), она оказывает весьма значительное влияние на формирование и преобразование состояния и свойств грунтов, в особенности наиболее распространенных грунтов — глинистых.

Виды воды в грунтах

Впервые классификация видов воды в грунтах была предложена А. Ф. Лебедевым в 1936 г. В дальнейшем она неоднократно подвергалась изменениям и дополнениям. В обобщенном виде она может быть представлена в виде классификации, предложенной Е. М. Сергеевым (1982):

- I. Вода в форме пара.
- II. Связанная вода:
 - 1) прочносвязанная (гигроскопическая вода);
 - 2) слабосвязанная вода;
 - 3) капиллярная вода.
- III. Свободная (гравитационная) вода.
- IV. Вода в твердом состоянии.
- V. Кристаллизационная вода и химически связанная вода.

Вода в форме пара содержится в грунте в небольших количествах (не более 0,001% от всей массы грунта). Передвигается в порах грунтов от участков с большей влажностью и температурой к участкам с их меньшими значениями. Водяной пар конденсируется при понижении температуры и может служить дополнительным источником питания подземных вод.

Связанная вода по своему строению и свойствам резко отличается от свободной (гравитационной воды). Она не подчиняется действию сил тяжести и удерживается на поверхности минералов силами молекулярных связей, значительно превышающими силу тяжести.

Одной из разновидностей связанной воды является **прочносвязанная вода**, которая образуется за счет притяжения молекул воды к адсорбционным центрам поверхности минеральных частиц. Эту воду называют еще гигроскопической и адсорбционной, и содержится она в микропорах и трещинах размером менее 0,001 мкм. Прочносвязанная вода обладает большой вязкостью и упругостью, замерзает при температуре ниже -4 °С, удаляется из грунта при $t > 100$ °С. Оказывает заметное влияние на прочностные, деформационные и другие характеристики грунтов. Наибольшее содержание прочносвязанной воды содержится в высокодисперсных глинах монтмориллонитового состава.

Слабосвязанная (пленочная) вода является водой переходного типа (от связанной к свободной). Не подчиняется закону тяжести, имеет плотность более 1 г/см^3 , замерзает при $t < 0^\circ \text{C}$ и обладает другими признаками связанной воды, однако при определенных условиях за счет менее прочной связи с поверхностью минеральных частиц может переходить в свободную воду. В зависимости от величины влажности, температуры, концентрации солей и других факторов передвигается от частиц с большей толщиной пленки к частицам с меньшей ее толщиной. Слабосвязанная вода во многом определяет такие важные свойства глинистых грунтов, как пластичность, набухание, консистенция и др.

Другим распространенным видом воды переходного типа является капиллярная вода, которая удерживается в мелких порах и трещинах силами поверхностного натяжения (менисковыми силами). В зависимости от того, сообщается ли капиллярная вода с уровнем грунтовых вод или нет, различают капиллярно-поднятую и капиллярно-подвешенную воду (рис. 18.4).

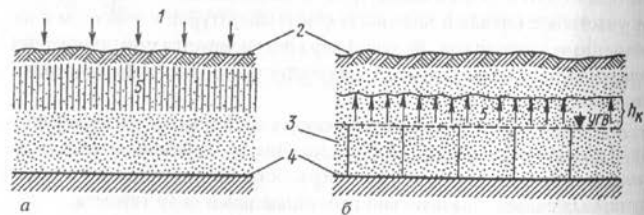


Рис. 18.4. Капиллярная вода в грунтовых условиях:

a — капиллярно-подвешенная; *b* — капиллярно-поднятая; 1 — атмосферные осадки; 2 — поверхность земли; 3 — водоносный горизонт; 4 — водоупорные слои; 5 — капиллярная вода; УГВ — уровень грунтовой воды; h_k — капиллярная зона или высота поднятия капиллярной воды

Первая залегает непосредственно выше уровня грунтовых вод, образуя капиллярную зону, мощность которой зависит от радиуса капилляров и колеблется от 0 (гравий, галька) до 3–4 м в суглинках и 6–8 м в опесчаненных глинах. Вторая — образуется в тонко- и

мелкозернистых песках при просачивании атмосферных осадков с поверхности земли в зону аэрации.

Капиллярная вода вызывает появление сырости в подвальных помещениях, снижает прочностные характеристики грунтов, содействует образованию морозных пучин на дорогах и нередко вызывает засоление грунтов в засушливых районах. При разработке мероприятий по борьбе с капиллярным влагонакоплением необходимо располагать данными о максимально возможной высоте и скорости поднятия капиллярной воды, которые во многом определяются гранулометрическим составом грунтов.

Свободная (гравитационная) вода — это подземная вода, обладающая всеми свойствами обычной жидкой воды. Она не связана с поверхностью минеральных частиц и не удерживается менисковыми силами, а передвигается по порам и трещинам под действием силы тяжести (так называемая просачивающаяся вода). После встречи на своем пути водоупорного слоя дальнейшее движение свободной воды происходит под влиянием напора (вода грунтового потока).

Свободная (гравитационная) вода широко используется для целей питьевого водоснабжения. В то же время она существенно осложняет условия строительства и эксплуатацию различных сооружений, в частности вызывает подтопление территорий и активизирует другие опасные геологические процессы.

Вода в твердом состоянии (лед) может содержаться в грунтах в виде кристалликов, жил, прослоев, линз. Лед скрепляет минеральные частицы грунта и повышает его прочность. При оттаивании свойства мерзлых грунтов резко изменяются и грунты теряют свою прочность.

Кристаллизационная вода и химически связанная (конституционная) вода входят в состав кристаллических решеток различных минералов. Например, гипс — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ содержит кристаллизационную воду, а лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ — химически связанную воду, для удаления которой необходимо нагреть образец до 200°C .

§ 4. Газовая компонента грунтов

Значительная доля пор и трещин в грунтах может быть занята газами — кислородом, азотом, углекислотой и др. Наибольшее содержание газовой компоненты отмечается в верхней части зоны аэрации. В нижней ее части, т. е. в капиллярной зоне, газов становится меньше, а в водонасыщенной зоне они практически отсутствуют.

Газы, находящиеся в грунтах, отличаются от атмосферного воздуха, в них значительно больше углекислоты (CO_2), а кислорода (O_2) и азота (N_2) меньше из-за поглощения их почвой.

Большую роль в различных процессах, протекающих в грунтах, играет **водяной пар**, имеющий обычно атмосферное происхождение. Он легко перемещается в грунте от участков с большей упругостью к участкам с меньшей упругостью, образуя другие виды воды путем конденсации.

Помимо газов атмосферного происхождения в грунтах могут быть также газы геологические (вулканические, радиогенные — радон, гелий и др.), биогенные (метан, сероводород и др.), техногенные (сероуглерод, углеводороды и др.).

По В.Т. Трофимову, В.А. Королеву и др. (2005), газы в грунтах могут находиться в следующих состояниях: а) **свободном**, легко передвигаясь в порах и трещинах; б) **адсорбированном**, прочно удерживаясь на поверхности минеральных частиц; в) **защемленном** (в порах и микротрещинах), будучи окруженными со всех сторон водой, и г) **растворенном** в поровой воде состоянии.

Общее количество свободных и адсорбированных газов, содержащихся в единице массы или объема грунта в природных условиях, называется **газоносностью**.

Наибольшее влияние газовая компонента оказывает на свойства и состояние песчаных и глинистых грунтов. Например, биогенные газы, содержащиеся в молодых озерно-болотных илистых грунтах мелководный, поддерживают эти отложения в неуплотненном, подвижном состоянии, создавая значительные трудности при их строительном освоении. К тому же выделение из этих отложений метана, сероводорода и других токсичных биогенных газов представляет значительную опасность при проходке горных выработок. Не менее опасны выделения биогенных газов, особенно метана, из техногенных грунтов.

В строительной практике известны случаи деформаций земляных насыпей и откосов из-за прорыва больших объемов защемленного газа при капиллярном всасывании в них воды. Некоторые газы, особенно сероводород (H_2S), могут повышать коррозионную активность грунтов по отношению к металлическим конструкциям. Значительна роль газовой компоненты и в развитии таких физико-химических процессов, как окисление, растворение и др., способствующих химическому выветриванию грунтов.

§ 5. Биотическая (живая) компонента грунта

Биотическая (живая) компонента грунта представлена микроорганизмами и в меньшей мере макроорганизмами. Наибольшую роль они играют в почве и подпочвенной толще, а также в биогенных грунтах — торфе, сапропели и др.

Макроорганизмы представлены высшими зелеными растениями, грибами, разлагающими сложные органические соединения, а также моллюсками, членистоногими, роющими животными (кротами, грызунами и др.), дождевыми червями и др. Все они оказывают либо механическое воздействие на строение и свойства верхней части грунтовой толщи, либо химическое — за счет выделения углекислоты и других химически активных соединений.

Еще большее влияние на твердую, жидкую и газовую компоненты грунта оказывают **микроорганизмы** (бактерии, микроскопические грибы и водоросли, вирусы, дрожжи, актиномицеты и др.), количество которых может достигать нескольких миллионов особей в 1 г грунта (рис. 18.5).

На состав и свойства грунтов они воздействуют главным образом путем накопления таких агрессивных продуктов их жизнедеятельности, как кислоты, щелочи, сульфиды, газы CO_2 , H_2S , NH_3 и др. Определенное значение имеет и непосредственное участие микробных сообществ в электрохимических реакциях на поверхности минеральных частиц, в частности в развитии биокоррозии. Так, например, обитающие в грунтах тионовые бактерии могут способствовать образованию

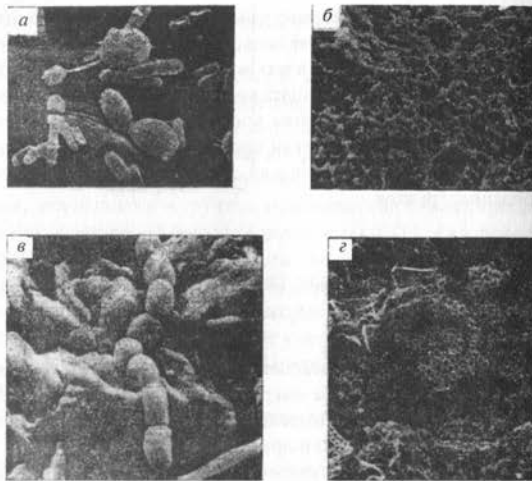


Рис. 18.5. Бактерии и дрожжи на поверхности минеральных частиц под электронным микроскопом: *а* — современные, ув. 5000 \times , *б* — в палеогеновых аргиллитах, ув. 5000 \times и *в* — ув. 10 000 \times ; *г* — споры микроскопических грибов в песках (ув. 1000 \times) (по Е.М. Сергееву, 1982)

агрессивных кислых вод с высокой биокоррозионной активностью по отношению к подземным сооружениям.

По представлению В.В. Радиной, газообразные продукты жизнедеятельности микроорганизмов могут снижать трение между частицами песчаного грунта и переводить его в текучее пльвинное состояние. В ряде исследований отмечалось также снижение механической прочности грунтов за счет выделения микроорганизмами поверхностно-активных веществ. По другим данным, микроорганизмы, например железобактерии, за счет образования ожелезненных прослоев могут увеличивать прочность грунтов.

Поэтому при инженерно-геологических исследованиях наряду с другими компонентами грунта детальному изучению подвергается и биотическая (живая) компонента грунта.

§ 6. Текстура, структура и структурные связи в грунтах

Структурно-текстурные особенности и характер структурных связей являются одними из важнейших показателей при инженерно-геологическом изучении грунтов. В совокупности они отражают условия формирования грунтов и во многом определяют их строение и свойства.

Текстура — это особенности строения грунта, обусловленные ориентировкой и пространственным расположением отдельных зерен, минеральных частиц, агрегатов и других структурных элементов. В первую очередь текстура характеризует неоднородность строения грунта и ориентированность его основных структурных элементов.

В магматических грунтах различают следующие текстуры: массивную, порфировую, полосчатую (темные и светлые минералы располагаются в виде чередующихся полос), флюидальную (мелкие кристаллы как бы обтекают более крупные кристаллы) и др. В метаморфических грунтах развиты сланцеватая, гнейсовидная, массивная и другие виды текстур. Наибольшим разнообразием отличаются текстуры осадочных пород, которые подразделяют на беспорядочные и упорядоченные (ориентированные). К первым относят массивные, глыбовые, комковатые (рис. 18.6), ореховидные и др. Среди упорядоченных выделяют слоистые, скрытослоистые, листоватые, плитчатые и чешуйчатые текстуры.

Все указанные типы текстур в той или иной степени влияют на инженерно-геологические свойства грунтов и их поведение под нагрузками, в откосах строительных выемок, на склонах и т. д. Текстурные особенности могут способствовать снижению прочности грунтов, увеличивать их сжимаемость, обуславливать резкую анизотропность свойств в различных направлениях, увеличивать водопроницаемость, ускорять выветривание грунтов и др.

Под **структурой грунта** понимают особенности его внутреннего строения, обусловленные размером, формой и количественным соотношением отдельных зерен, частиц и агрегатов, а также характером взаимосвязи их друг с другом.

Структура грунта, так же как и текстура, отражает его генезис и последующие преобразования. В магматических грунтах по степе-



Рис. 18.6. Обнажение глин с комковатой текстурой

ни кристалличности выделяют полно-, неполнокристаллическую и стекловатую структуры, по абсолютным размерам зерен — гигантозернистую (> 50 мм), крупнозернистую (50–5 мм), среднезернистую (5–1 мм), мелкозернистую (< 1 мм) и скрытокристаллическую.

Характерной чертой структур метаморфических пород является их полнокристалличность. Высокую прочность метаморфическим грунтам придает гранобластовая структура, типичная для кварцитов и гнейсов.

Весьма разнообразны структуры осадочных грунтов. Так, например, в осадочных обломочных сцементированных грунтах выделяют структуры псефитовые (брекчии и конгломераты), псаммитовые (песчаники), алевритовые и др. В осадочных обломочных рыхлых — плотные и раздельно-зернистые структуры, в глинистых грунтах в зависимости от размеров агрегатов различают макро-, мезо- и микроагрегатные структуры (рис. 18.7).

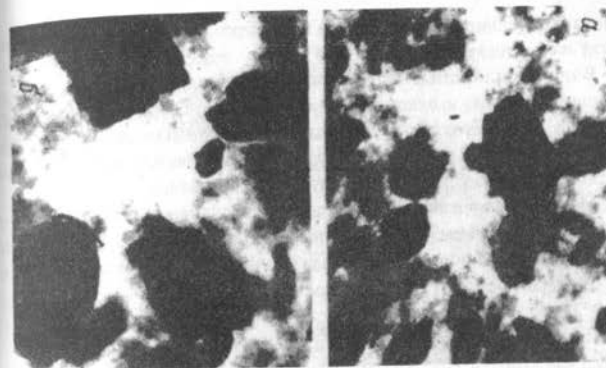


Рис. 18.7. Микроагрегатные структуры озерно-старичных глин (электронные микрофотографии фракции < 0,001 мм)

Структурно-текстурные особенности грунтов изучают визуально либо с помощью поляризационного микроскопа, а микроструктуры (микротекстуры) — с помощью электронного микроскопа и специальной рентгеновской съемки.

Важнейшей инженерно-геологической характеристикой грунтов являются их **структурные связи**, т. е. связи между структурными элементами (частицами, зернами, агрегатами и др.).

По своей природе структурные связи могут быть кристаллизационными, цементационными, водно-коллоидными и механическими. В зависимости от характера структурных связей, согласно ГОСТ 25100–95, выделяют четыре основных класса грунтов, которые будут рассмотрены ниже.

Кристаллизационные и цементационные жесткие связи характерны для магматических и метаморфических грунтов, а также для некоторых осадочных пород — обломочных сцементированных (песчаники, конгломераты и др.), химических (известняки, гипсы и др.) и органических (мела, опоки и др.). Эти наиболее прочные и необратимые структурные связи придают грунтам твердость и большую прочность. Кристаллизационные связи, возникающие в грунтах

при отрицательной температуре и характерные для мерзлых грунтов, носят название *криогенных*.

Водно-коллоидные структурные связи присущи рыхлым осадочным грунтам, в основном — глинистым. Связи этого типа обратимые — при разрушении они могут восстанавливаться. Грунты с водно-коллоидными связями размокают в воде или набухают; при высыхании дают усадку, прочность их невысокая.

Механические связи характерны для песчаных и крупнообломочных грунтов. Грунты с подобными структурными связями слабо сжимаемы и хорошо водопроницаемы, прочность их высокая и средняя.

Глава 19. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

§ 1. Физические свойства грунтов

К важнейшим физическим свойствам грунтов, определяемым в лабораторных условиях, относят плотность частиц грунта, влажность и плотность (ГОСТ 5180–84).

Плотность частиц грунта ρ_s , г/см³, т/м³, — отношение массы твердых (скелетных) частиц грунта к их объему. Этот показатель характеризует твердую компоненту грунта и зависит от его минерального состава. Присутствие в грунте органических веществ снижает величину ρ_s .

Для определения плотности частиц грунта в лабораторных условиях используют пикнометр (мерную колбу), заполняя ее дистиллированной водой или, во избежание растворения солей, нейтральной жидкостью (керосин, толуол и др.).

Плотность частиц грунта определяют по формуле:

$$\rho_s = \frac{m_0}{m_0 + m_2 - m_1} \rho_b,$$

где m_0 — масса сухого грунта, г; m_1 — масса пикнометра с грунтом и водой, г; m_2 — масса пикнометра с водой, г; ρ_b — плотность воды, г/см³.

Средние значения ρ_s песчаных и пылевато-глинистых грунтов следующие (в г/см³): песок — 2,66; супесь — 2,70; суглинок — 2,71; глина — 2,74.

С увеличением содержания в грунте тяжелых минералов плотность частиц грунта увеличивается, достигая 3,0–3,4 г/см³ в магматических основных породах (габбро, диабаз и др.).

Данные о значении плотности частиц грунта используют для определения пористости и коэффициента пористости грунтов, а также для ориентировочной характеристики минерального состава.

Влажность природная W , % или доли ед. — отношение массы воды, содержащейся в грунте, к массе этого грунта, высушенного до постоянной массы.

В лабораторных условиях влажность определяют путем высушивания грунта в сушильном шкафу при $t = 105$ °С в течение 3–5 часов до постоянной массы (абсолютно-сухого состояния).

Влажность определяют по формуле

$$W = \frac{g - g_c}{g_c - g_0} \cdot 100\%,$$

где g — масса грунта в бюксе (стаканчике) с крышкой до высушивания, г; g_c — то же после высушивания, г; g_0 — масса пустого бюкса с крышкой.

Влажность грунтов зависит от их минерального и гранулометрического состава, пористости, содержания органических веществ, глубины залегания подземных вод и др. Для глинистых грунтов она может колебаться от 3–5 до 100% и более, во многом определяя их прочность, сжимаемость и другие важнейшие свойства. На свойства других типов грунтов влажность оказывает меньшее влияние.

Плотность грунта ρ , г/см³, т/м³, — отношение массы грунта (включая массу воды в порах) к его объему.

Величина плотности грунтов колеблется в широких пределах: от 1,2–1,3 до 3,5 г/см³ и зависит от минерального состава, пористости, влажности и других показателей. В лабораторных условиях плотность грунтов определяют: 1) методом режущего кольца, задавливаемого в грунт, и 2) путем взвешивания парафинированных образцов грунта в воде и в воздушной среде. Плотность крупнообломочных грунтов можно установить в полевых условиях с помощью проходки неболь-

шого шурфа (вертикальной горной выработки глубиной до 0,5 м). Взвесив извлеченный из шурфа грунт и разделив его на объем шурфа, получают значение плотности крупнообломочного грунта.

Показатели плотности широко используются при инженерно-геологической оценке различных типов грунтов.

Остальные показатели физических свойств грунтов определяются расчетным способом.

Плотность сухого грунта ρ_d , г/см³, т/м³, — отношение массы грунта (за вычетом массы воды и льда) к его объему:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+W} \text{ или } \rho_d = \frac{\rho}{1+0,01W}$$

где W — естественная влажность, в первом случае — в долях единицы, во втором — в процентах.

Значения плотности сухого грунта в песчано-глинистых грунтах колеблются от 1,1 до 1,9 г/см³. Величина ρ_d служит основным показателем, контролирующим степень уплотнения грунтов в земляных сооружениях.

Пористость грунта n , %, доли ед., — отношение объема пор ко всему объему грунта:

$$n = 1 - \frac{\rho}{\rho_s(1+W)} \text{ или } n = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}$$

Пористость глинистых грунтов колеблется обычно в пределах 40–60%, в песчаных 30–40, а в илах она может достигать 70–90%. Наименьшей пористостью обладают магматические интрузивные и многие метаморфические грунты (от долей процента до 1–3%).

Величина пористости грунтов влияет на сжимаемость, прочность и другие свойства.

Коэффициент пористости e , доли ед., — отношение объема пор к объему твердой части скелета грунта

$$e = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

Таблица 19.1

Взаимные зависимости физических характеристик грунта

Показатель	грунта ρ	Плотность, г/см ³ части грунта ρ_s	сухого грунта ρ_d	Влажность, д.е.		Степень влажности насыщения S_r , д.е.	Пористость n , д.е.	Коэффициент пористости, е, д.е.
				природная W	полную влажность насыщения W_{sat}			
ρ	—	$(1-n)\rho_s(1+W)$	$\rho_d(1+W)$	$S_r \frac{n(1+W)}{W} \rho_w$	$1 + \frac{W_{sat} \rho_w}{W}$	$S_r \frac{n(1+W)}{W} \rho_w$	$(1-n)\rho_s(1+W)$	$\frac{1+W}{1-e} \rho_s$
ρ_s	$\frac{\rho}{(1+W)(1-n)}$	—	$\frac{\rho_d}{1-n}$	$\frac{S_r \cdot e \cdot \rho_w}{W}$	$\frac{e \cdot \rho_w}{W_{sat}}$	$\frac{S_r \cdot e \cdot \rho_w}{W}$	$\frac{\rho_d}{1-n}$	$(1+e)\rho_d$
ρ_d	$\frac{\rho}{1+W}$	$\rho_s(1-n)$	—	$\frac{\rho}{1+W}$	$\frac{n \cdot \rho_w}{W_{sat}}$	$\frac{S_r \cdot \rho_w \cdot n}{W}$	$(1-n)\rho_s$	$\frac{\rho_d}{1+e}$
W	$\frac{\rho - \rho_d}{\rho_d}$	$\frac{\rho}{(1+n)\rho_s} - 1$	$\frac{\rho - \rho_d}{\rho_d}$	—	$S_r \cdot W_{sat}$	$S_r \cdot W_{sat}$	$\frac{\rho}{(1-n)\rho_s}$	$\frac{(1+e)\rho}{\rho_s} - 1$
W_{sat}	$\frac{\rho_w \cdot n(1+W)}{\rho}$	$\frac{\rho_w}{\rho_s}$	$\frac{n \cdot \rho_w}{\rho_d}$	$\frac{W}{S_r}$	—	$\frac{W}{S_r}$	$\frac{n\rho_w}{(1-n)\rho_s}$	$\frac{e\rho_w}{\rho_s}$
S_r	$\frac{\rho \cdot W}{n(1+W)\rho_w}$	$\frac{\rho(1-n)W}{n\rho_w}$	$\frac{\rho_d \cdot W}{n\rho_w}$	$\frac{W}{W_{sat}}$	$\frac{W}{W_{sat}}$	—	$\frac{(1-n)W\rho_d}{n \cdot \rho_w}$	$\frac{W\rho_d}{e \cdot \rho_w}$
n	$1 - \frac{\rho}{\rho_s(1+W)}$	$\frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}$	$\frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}$	$1 - \frac{\rho}{\rho_s(1+W)}$	$\frac{W_{sat} \cdot \rho_d}{\rho_w}$	$\frac{W}{S_r(1+W)\rho_w}$	—	$\frac{e}{1+e}$
e	$\frac{(1+W)\rho_d}{\rho} - 1$	$\frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$	$\frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$	$\frac{(1+W)\rho_d}{\rho} - 1$	$\frac{W_{sat} \cdot \rho_d}{\rho_w}$	$\frac{W_{sat} \cdot \rho_d}{S_r \cdot \rho_w}$	$\frac{n}{1-n}$	—

Примечание: ρ_d — плотность воды, 1 г/см³; д.е. — доли единицы.

Значение n и e можно преобразовать одно в другое по формулам:

$$n = \frac{e}{1+e} \cdot 100\%; e = \frac{n}{1+n}.$$

Коэффициент водонасыщения (степень влажности) S_r , доли ед., — степень заполнения объема пор водой:

$$S_r = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w},$$

где W — природная влажность, доли ед.; e — коэффициент пористости, доли ед.; ρ_s — плотность частиц грунта, г/см³; ρ_w — плотность воды, принимаемая равной 1,0 г/см³.

В зависимости от степени влажности песчаные и крупнообломочные грунты разделяют на водонасыщенные при $S_r > 0,8$, влажные — при $0,5 \leq S_r \leq 0,8$ и маловлажные — при $0 \leq S_r < 0,5$.

Взаимные зависимости физических характеристик грунта приведены в табл. 19.1.

§ 2. Механические свойства грунтов

Основные показатели механических свойств грунтов (сжимаемость, прочность и др.) широко используются в строительной практике. Они необходимы для расчета величины осадок сооружений, оценки степени устойчивости оползневых склонов и откосов выемок и т. д. Механические свойства грунтов выражают деформационными и прочностными показателями. Первые характеризуют, прежде всего, сжимаемость грунтов под нагрузкой, вторые — сопротивление их срезу (сдвигу). Механические свойства определяют в лабораторных и полевых условиях (ГОСТ 12248–96; ГОСТ 20276–99).

Деформационные характеристики грунтов

Сжимаемостью грунтов называют способность их под воздействием внешних нагрузок, не подвергаясь разрушению, уменьшаться в объеме (давать осадку) за счет уменьшения объема пор и увеличения плотности.

Сжимаемость зависит, прежде всего, от характера структурных связей и физического состояния грунтов, а также от их минерального состава, степени дисперсности и других факторов.

В лабораторных условиях сжимаемость определяют в специальных приборах — одометрах в условиях, исключающих возможность бокового расширения образца грунта, помещенного в жесткое металлическое кольцо (компрессионные испытания) (рис. 19.1).

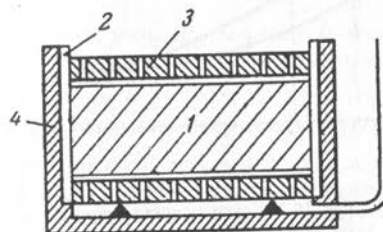


Рис. 19.1. Схема одометра:

1 — образец грунта; 2 — металлическое кольцо для грунта; 3 — штамп с отверстиями для выхода воды из образца; 4 — сосуд для воды

Сжимаемость характеризуют компрессионной кривой, которая отражает зависимость между давлением на грунт и коэффициентом пористости, т. е. $e = f(p)$ (рис. 19.2). Результаты компрессионных испытаний позволяют определить модуль общей деформации грунта E , коэффициент сжимаемости a и модуль осадки грунта l_p .

Коэффициент сжимаемости или **уплотнения** a , МПа⁻¹, характеризует сжимаемость грунта в выбранном интервале нагрузок:

$$a = \frac{e_1 - e_2}{p_1 - p_2},$$

где p_1 и p_2 — соответственно исходная и последующая нагрузки, МПа, а e_1 и e_2 — отвечающие этим нагрузкам коэффициенты пористости.

Коэффициент сжимаемости a является классификационной характеристикой, с его помощью грунты по степени сжимаемости разделяются следующим образом:

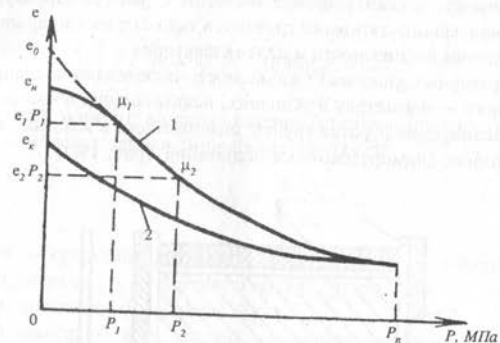


Рис. 19.2. Компрессионные кривые:
1 — ветвь нагружения; 2 — ветвь разгрузки грунта

Таблица 19.2

Коэффициент сжимаемости a , МПа ⁻¹	Степень сжимаемости
< 0,001	Практически несжимаемый
0,001–0,005	Слабая
0,005–0,01	Средняя
0,01–0,10	Повышенная
> 0,10	Сильная

Модуль общей деформации E представляет собой коэффициент пропорциональности между приращениями давления на образец и его деформацией:

$$E = \frac{1 + e_0}{a} \cdot \beta,$$

где e_0 — начальный коэффициент пористости грунта, доли единиц; a — коэффициент сжимаемости, МПа⁻¹; β — коэффициент, учитывающий невозможность бокового расширения грунта (для песков и супесей $\beta = 0,74$, суглинков — $0,62$, глин — $0,40$).

Сжимаемость грунта можно выражать не только через коэффициент сжимаемости a , но и с помощью модуля общей деформации.

Модуль осадки e_p характеризует величину деформации слоя грунта толщиной 1 м при приложении к нему дополнительной нагрузки $p = 0,1$ МПа:

$$e_p = 1000 \cdot \frac{\Delta h}{h},$$

где e_p — модуль осадки, мм/м; h — начальная высота образца, мм; Δh — уменьшение высоты образца при давлении p , мм.

Прочностные характеристики грунтов

Под прочностью грунтов в широком смысле понимают их способность сопротивляться разрушению под воздействием механических напряжений. Прочностные характеристики грунтов необходимы для расчетов устойчивости оснований сооружений, оползневых склонов, откосов котлованов и др.

Важнейшей прочностной характеристикой рыхлых осадочных грунтов является сопротивление грунтов сдвигу, которое определяется на специальных приборах. Схема таких приборов показана на рис. 19.3.

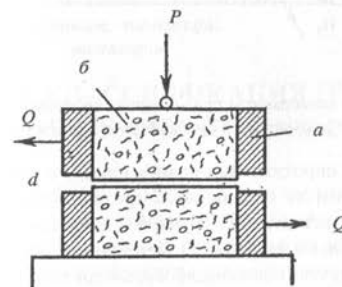


Рис. 19.3. Схема прибора для опыта с прямым сдвигом (срезом) образца:
 a — обойма прибора; b — грунт; d — зазор; P — нормальное сжимающее напряжение; Q — сдвигающая сила

Сущность опыта заключается в срезе (сдвиге) одной части образца относительно другой при одновременном нагружении образца нагрузкой, нормальной к плоскости среза.

Сопротивление грунтов сдвигу (срезу) выражается линейной зависимостью Кулона:

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

где τ — предельное сопротивление грунтов сдвигу, МПа; σ — нормальное сжимающее напряжение, МПа; $\operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент внутреннего трения; φ — угол внутреннего трения, градус; c — удельное сцепление, МПа (рис. 19.4).

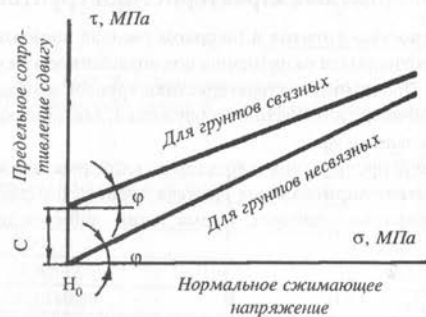


Рис. 19.4. График зависимости предельного сопротивления грунтов сдвигу τ от нормального сжимающего напряжения σ

Показатели сопротивления сдвигу (срезу) в лабораторных условиях определяются на специальных срезных (сдвиговых) приборах (рис. 19.5). При испытаниях грунтов в этих приборах используют две основные схемы опытов: 1) медленный срез предварительно уплотненного грунта (консолидированно-дренированное испытание) и 2) быстрый срез без предварительного уплотнения (неконсолидированное — недренированное испытание) для медленно уплотняющихся водонасыщенных грунтов.

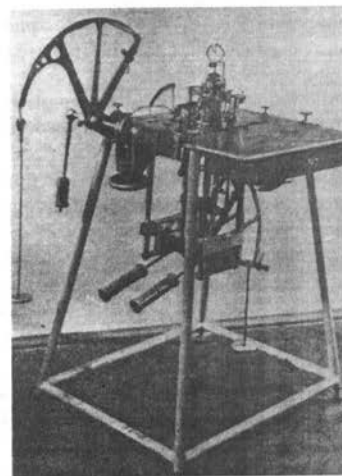


Рис. 19.5. Сдвиговой (срезной) прибор Маслова—Лурье (ГПП-30)

Характерные значения прочностных характеристик магматических, метаморфических и прочных осадочных пород будут рассмотрены в гл. 21.

Глава 20. КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПО ГОСТ 25100-95

Согласно ГОСТ 25100-95 «Грунты. Классификация», все грунты по общему характеру структурных связей делятся на четыре класса:

I. **Класс природных скальных грунтов** (с жесткими структурными связями — кристаллизационными и цементационными) — магматические, метаморфические и прочные осадочные грунты.

II. **Класс природных дисперсных грунтов** (с механическими и водно-коллоидными структурными связями) — рыхлые осадочные грунты.

III. **Класс природных мерзлых грунтов** (с криогенными структурными связями, т. е. с наличием льда и отрицательной температурой) — скальные и дисперсные грунты.

IV. **Класс техногенных грунтов** (с различными структурными связями, возникшими в результате деятельности человека) — скальные, дисперсные и мерзлые грунты.

Классы грунтов, согласно ГОСТ 25100–95, подразделяются на пять таксономических единиц по следующим признакам: **группа** — по характеру структурных связей (с учетом их прочности); **подгруппа** — по происхождению и условиям образования; **тип** — по вещественному, т. е. химико-минеральному составу; **вид** — по наименованию грунтов (с учетом размеров частиц и показателей свойств); **разновидность** — по количественным показателям состава, свойств и структуры грунтов.

Наименования грунтов должны содержать сведения об их геологическом возрасте. Например: «верхнечетвертичные суглинки», «палеогеновые глины» и т. д.

Основные признаки и критерии, по которым выделяются таксономические единицы для скальных и дисперсных грунтов, указаны в табл. 20.1 и 20.2. Характеристика грунтов III и IV классов (мерзлые и техногенные грунты) приведены в главе 23, § 1 и § 7.

Таблица 20.1

Классификация природных скальных грунтов (по ГОСТ 25100–95)

Класс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид	Разновидности
Скальные (с жесткими кристаллическими и цементационными структурными связями)	Скальные	Магматические	Силикатные	Граниты, габбро, базальты и др.	Выделяются по: 1) пределу прочности на одноосное сжатие; 2) плотности частиц грунта; 3) коэффициенту выветрелости; 4) степени размягчаемости;

Окончание табл. 20.1

Скальные (с жесткими кристаллическими и цементационными структурными связями)		Метаморфические	Силикатные	Гнейсы, кварциты и др.	5) степени растворимости; 6) степени водопроницаемости; 7) степени засоленности; 8) структуре и текстуре; 9) температуре.
			Карбонатные	Мраморы и др.	
		Осадочные	Силикатные	Песчаники, конгломераты, брекчии и др.	
			Карбонатные	Известняки, доломиты	
	Полускальные	Осадочные	Силикатные	Аргиллиты, песчаники	
			Кремнистые	Опоки, трепела, диатомиты	
			Карбонатные	Мела, мергели и др.	
			Сульфатные	Гипсы, ангидриты	
			Галоидные	Галиты, карналиты	

Классификация грунтов по ГОСТ 25100–95 распространяется на все грунты и является обязательной при производстве инженерно-геологических изысканий, проектировании и строительстве зданий и сооружений.

Таблица 20.2
Классификация природных дисперсных грунтов (по ГОСТ 25100-95)

Класс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид		Выделяются по:
				Связные	Осажденные	
Дисперсные (с механическими и водно-коллоидными структурами связями)	Связные	Осажденные	Силикатные, карбонатные, железистые, полиминеральные	Глинистые грунты	1) granulометрическому составу (крупнообломочные грунты и пески); 2) числу пластичности и granulометрическому составу (глинистые грунты и илы); 3) степени неоднородности granulометрического состава (пески); 4) показателю текучести (глинистые грунты); 5) относительной деформации набухания без нагрузки (глинистые грунты); 6) относительной деформации просадочности (глинистые грунты); 7) коэффициенту водонасыщения (крупнообломочные грунты и пески); 8) коэффициенту пористости } пески 9) степени плотности; } крупнообломочные грунты; 10) коэффициенту выветрелости } 11) коэффициенту истощаемости } 12) относительному содержанию органического вещества (пески и глинистые грунты); 13) степени разложения } торфы 14) степени засоленности; 15) степени засоленности; 16) относительной деформации пучения; 17) температуре.	
			Органоминеральные	Илы, сапропели, заторфованные грунты		
	Несвязные	Осажденные	Органические	Торфы и др.		
			Минеральные	Пески, крупнообломочные грунты		

Примечание. Почвы (щебенистые, дресвяные, песчаные, глинистые, торфяные и др.) выделяются по совокупности признаков как соответствующий вид и разновидность грунта.

Глава 21. КЛАСС ПРИРОДНЫХ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ

К классу природных скальных грунтов (см. табл. 20.1) относятся магматические, метаморфические и прочные силикатные и карбонатные осадочные грунты (песчаники, известняки, гипсы и др.). В инженерно-геологических целях их обычно подразделяют по пределу прочности на одноосное сжатие, коэффициенту размягчаемости в воде и степени выветрелости (табл. 21.1).

Таблица 21.1

Характеристика скальных и полускальных грунтов

Принцип разделения	Разновидности грунтов	Показатель
По пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии	Скальные очень прочные прочные средней прочности малопрочные	$R_c > 120$ МПа $120 \geq R_c > 50$ $50 \geq R_c > 15$ $15 \geq R_c > 5$
	Полускальные пониженной прочности низкой прочности весьма низкой прочности	$5 \geq R_c > 3$ $3 \geq R_c > 1$ $R_c > 1$
По коэффициенту размягчаемости в воде	Неразмягчаемые Размягчаемые	$K_{сop} \geq 0,75$ $K_{сop} < 0,75$
По степени выветрелости	Невыветрелые моновитные	Породы залегают в виде сплошного массива, $K_{вр} = 1$
	Слабовыветрелые (трещиноватые)	Породы залегают в виде отдельных (глыб), $1 \geq K_{вр} \geq 0,9$
	Выветрелые	Породы залегают в виде скопления кусков, переходящего в трещиноватую скалу, $0,9 > K_{вр} \geq 0,8$
	Сильнотрещиноватые (рухляки)	Породы залегают во всем массиве в виде отдельных кусков, $K_{вр} < 0,8$

Важнейшей классификационной характеристикой скальных грунтов является предел прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии R_c , МПа, который представляет собой отношение нагрузки, при которой происходит разрушение образца, к площади первоначального поперечного сечения.

В зависимости от величины R_c различают скальные ($R_c > 5$ МПа) и полускальные ($R_c \leq 5$ МПа) грунты (см. табл. 20.1).

Скальные грунты залегают обычно в виде сплошного или трещиноватого массива. Наличие структурных связей кристаллизационного типа обуславливает их малую деформируемость и высокую прочность, которая значительно превосходит нагрузки, существующие в строительной практике.

Наибольшие значения предела прочности на одноосное сжатие характерны для железистых кварцитов, мелкозернистых гранитов и монолитных диабазов, а также габбро, базальтов — до 380–460 МПа, а наименьшие для осадочных цементированных и химических — известняк выветрелый, песчаник выветрелый и др. — 8–40 МПа. Скальные грунты мелко- и равномернозернистые имеют значительно большую прочность, чем крупнозернистые и порфировидные.

Полускальные грунты — это сильно трещиноватые и выветрелые магматические породы, а также вулканические туфы и некоторые осадочные химические и органические породы — мела, гипсы, каменные соли, известняки-ракушечники. К полускальным относятся песчаники и конгломераты с глинистым цементом. Одна и та же порода (например, песчаник) в зависимости от типа цемента может относиться либо к скальным (песчаник на кремнеземистом цементе), либо к полускальным (песчаник на глинистом цементе).

По своим параметрам полускальные грунты отличаются от скальных меньшей прочностью ($R_c \leq 5$ МПа), большей деформируемостью, пористостью и влагоемкостью. В целом они достаточно устойчивы по прочности, однако из-за способности некоторых из них к размягчению и растворению в воде (гипс, каменная соль, мергель и др.) требуют в ряде случаев применения сложных инженерных мероприятий при строительном освоении. Отношение к воде и в первую очередь их растворимость имеют важное значение не только для полускальных, но и для некоторых скальных грунтов (известняки, доломиты). С этими грунтами связано развитие весьма распространенного в мире опасного геологического процесса — карста (см. главу 27).

На прочностные показатели скальных и полускальных грунтов большое влияние оказывает коэффициент выветрелости $K_{вт}$ (см. табл. 21.1), т. е. отношение плотности выветрелого грунта к плотности невыветрелого. При значении $K_{вт} < 0,9$ прочность грунтов значительно снижается. Так, например, предел прочности гранита на одноосное сжатие R_c в невыветрелом состоянии составляет 80–380 МПа, а для выветрелых разновидностей он не превышает 4–6 МПа.

Рассматриваемый класс грунтов подразделяют и по величине коэффициента размягчаемости $K_{сop}$, т. е. по отношению пределов прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном и воздушно-сухом состояниях (табл. 21.1).

Одним из важнейших вопросов при инженерно-геологических исследованиях скальных и полускальных грунтов является оценка их трещиноватости. Разбивая массив скальных грунтов на отдельные блоки, трещиноватость увеличивает водопроницаемость, деформируемость, снижает прочностные показатели грунтов и во многом затрудняет организацию производства строительных работ. Важно установить не только генетические типы трещин, качественные и количественные показатели трещиноватости (модуль трещиноватости, коэффициент трещинной пустотности и др.), но и оценить ее влияние на физико-механические свойства и фильтрационные параметры массива грунтов. Особенно это важно при проектировании и строительстве таких сооружений, как плотины, водохранилища, тоннели.

Глава 22. КЛАСС ПРИРОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ

§ 1. Характерные особенности дисперсных грунтов

Дисперсные грунты состоят из отдельных обломков (частиц) различной крупности, слабо связанных друг с другом. Их образование связано с выветриванием скальных грунтов и последующим переотложением продуктов выветривания водным, ветровым или другими способами. Более 80% всей осадочной оболочки земной коры сложено дисперсными грунтами.

Для дисперсных грунтов характерны нежесткие механические и водно-коллоидные структурные связи. К грунтам этого типа относят рыхлые осадочные обломочные породы, которые подразделяют на связные и несвязные.

По сравнению со скальными и полускальными грунтами дисперсные грунты, особенно связные, отличаются значительно меньшей прочностью и большей деформируемостью. Для них характерна резкая изменчивость физического состояния и свойств, многообразие текстурно-структурных особенностей, высокая пористость, слабые структурные связи и весьма различная водопроницаемость от высокой и очень высокой для несвязных грунтов (песков и галечников) до очень незначительной (связные грунты).

Условия строительства различных сооружений на дисперсных грунтах часто сопряжены с большими трудностями. Наибольшие осложнения при строительстве обычно связаны с так называемыми специфическими грунтами, т. е. грунтами особого состава, состояния и свойств (лессовыми просадочными, набухающими, элювиальными и др.). Подробно они рассматриваются в гл. 23.

Указанные выше особенности дисперсных грунтов, особенно связных (глинистые грунты и др.), требуют всестороннего инженерно-геологического изучения их при проектировании и строительстве различных сооружений.

§ 2. Связные грунты

К этой группе дисперсных грунтов относят глинистые, а также органоминеральные и органические грунты, которые подробно будут рассмотрены в главе 23, § 4.

Глинистые грунты (супеси, суглинки и глины) в строительной практике наиболее часто служат основаниями и вместилищами самых разнообразных сооружений. Очень широко они используются и как естественные строительные материалы.

Для глинистых грунтов характерно залегание в виде отдельных слоев, а также прослоев и линз. Мощность их весьма разнообразна — от долей метра до многих сотен метров. В составе глин преобладают глинистые минералы (до 95%) — гидрослюда, каолинит,

монтмориллонит и др., в качестве примесей содержатся кварц, полевые шпаты, слюды и другие минералы. В супесях преобладают уже так называемые кластогенные минералы (кварц, полевые шпаты и др.). Суглинки по минеральному составу занимают промежуточное положение между глинами и супесями.

Глинистые грунты характеризуются не только физическими и механическими свойствами, рассмотренными нами выше (см. гл. 19), но и специфическими свойствами, присущими обычно только этой группе дисперсных грунтов: пластичностью, консистенцией, липкостью, размокаемостью, коррозионностью, набуханием, усадкой и др.

Пластичностью называют способность глинистого грунта под воздействием внешних механических усилий изменять свою внешнюю форму без разрушения и разрыва и сохранять приданную ему форму после устранения действия внешней силы.

Характерные влажности, которые ограничивают интервал проявления пластичных свойств, называют границами (пределами) пластичности. Под **границей текучести** W_L понимается влажность, при которой грунт переходит из пластичного состояния в текучее, а под **границей раскатывания** W_p — влажность при переходе глинистого грунта из пластичного состояния в полутвердое или твердое. Методика определения границ текучести и раскатывания стандартизирована (ГОСТ 5180-84).

Разность между W_L и W_p называется **числом пластичности** I_p , т. е.

$$I_p = W_L - W_p.$$

В соответствии с ГОСТ 25100-95 глинистые грунты по числу пластичности подразделяются следующим образом:

Грунт	I_p
Супесь	1-7
Суглинок	7-17
Глина	> 17

По ГОСТ 25100-95 глинистые грунты по числу пластичности подразделяют и более подробно с учетом данных по гранулометрическому составу (табл. 22.1).

Таблица 22.1

Классификация глинистых грунтов по числу пластичности I_p и гранулометрическому составу

Разновидность глинистого грунта	Число пластичности, I_p	Содержание песчаных частиц (2–0,5 мм), %
Супесь: песчаная	1–7	≤ 50
пылеватая	1–7	< 50
Суглинок: легкий песчаный	7–12	≥ 40
легкий пылеватый	7–12	< 40
тяжелый песчаный	12–17	≥ 40
тяжелый пылеватый	12–17	< 40
Глина: легкая песчаная	17–27	≥ 40
легкая пылеватая	17–27	< 40
тяжелая	> 27	Не регламентируется

Консистенция глинистых грунтов. В зависимости от влажности глинистые грунты имеют различное физическое состояние или консистенцию — текучую, пластичную и твердую. Если природная влажность грунта меньше границы раскатывания, грунт находится в твердом состоянии, т. е. $W < W_p$. При значениях $W_p \leq W \leq W_L$ для грунта характерно пластичное состояние, а при $W \geq W_L$ — текучее. Кроме основных трех форм консистенции выделяют также промежуточные: полутвердую, тугопластичную, мягкопластичную и текучепластичную. Для характеристики консистенции глинистого грунта в строительных целях используют *показатель текучести (консистенции) I_L* :

$$I_L = \frac{W - W_p}{I_p}$$

Показатель текучести I_L может быть как отрицательным (твердые грунты), так и положительным, в том числе и более 1 (текучие грунты).

Детальное подразделение глинистых грунтов по величине показателя текучести I_L (по ГОСТ 25100–95) приводится ниже:

Глинистые грунты	I_L
Супеси:	
твердые	< 0
пластичные	0–1
текучие	> 1
Суглинки и глины:	
твердые	< 0
полутвердые	0–0,25
тугопластичные	0,25–0,50
мягкопластичные	0,50–0,75
текучепластичные	0,75–1,00
текучие	> 1,00

В зависимости от величины показателя текучести I_L в соответствии с действующим СНИП 2.02.01–83* может производиться выбор нормативных значений модуля деформации, удельного сцепления и угла внутреннего трения глинистых грунтов.

Липкость — способность глинистых грунтов при определенном содержании воды прилипать к поверхности различных предметов. Это свойство наиболее характерно для влажных глинистых, лессовых, торфяных и других дисперсных грунтов. По кривой зависимости липкости от влажности определяют: влажность начального прилипания ($W_{нп}$), влажность максимального прилипания ($W_{мп}$) и максимальную липкость (L_{max}). Максимальное значение липкости для глинистых грунтов в зависимости от их химико-минерального состава, дисперсности, влажности и других факторов изменяется от 0,002 до 0,55 МПа. Значение липкости учитывают в дорожном строительстве при анализе работы дорожных машин, а также при выполнении вскрышных работ на карьерах и т. д. Для снижения липкости глинистых грунтов, например при устройстве грунтовых дорог, в них добавляют песок.

Размокаемость называют способность грунтов при погружении в спокойную воду терять связность и превращаться в рыхлую массу с частичной или полной потерей прочности. Подавляющее большинство глинистых грунтов относится к категории размокаемых в той или иной степени. Размокать могут и скальные грунты, например, песчаники с глинистым и растворимым цементом.

Показателями размокаемости грунтов являются: 1) время размокания; 2) характер размокания, который оценивается визуально, и 3) конечная влажность размокания образца.

На характер и скорость размокания глинистых грунтов влияют химико-минеральный состав, структурно-текстурные особенности, состав обменных катионов и в особенности начальная влажность грунта. В строительной практике размокаемость изучается для оценки состояния грунтов при вскрытии их котлованами и выемками, откосы и дно которых могут подвергаться воздействию воды.

В отличие от размокаемости другое характерное свойство дисперсных грунтов — размываемость — проявляется только при длительном воздействии текучей воды на грунтовую толщу.

Коррозионные свойства дисперсных грунтов проявляются при взаимодействии подземных металлических конструкций (стальных трубопроводов и др.) с жидкой компонентой грунта, т. е. с электролитом. Процесс разрушения материалов вследствие этого взаимодействия получил название **коррозии**.

Качественно коррозионная агрессивность грунтов характеризуется тем сроком, по истечении которого в металлической конструкции появляется первая каверна (сквозной пitting). По данным В. А. При тулы, срок его появления в стальном трубопроводе диаметром 300 мм с толщиной стенки 8–9 мм от 1–3 лет (весьма высокая коррозионная активность грунтов) до 25 лет и более при низкой активности.

Для количественной оценки коррозионной агрессивности грунтов, залегающих выше уровня грунтовых вод, проводят полевые и лабораторные исследования. В полевых условиях методом электроразведки определяют величину удельного электрического сопротивления грунта ρ , Ом · м, по всей проектируемой трассе трубопровода. При значениях $\rho < 5$ Ом · м коррозионная активность грунтов считается весьма высокой, при $\rho > 100$ Ом · м — низкой (табл. 22.2).

Полевые геофизические исследования методом электроразведки дополняют лабораторными, в ходе которых фиксируют потерю в массе стальной трубки (эталоны), помещенной в испытываемый грунт. В течение 24 ч через грунт пропускают постоянный электрический ток напряжением 6 В. Чем больше потеря массы образца, тем выше коррозионная активность грунта (табл. 22.2).

Таблица 22.2

Коррозионная агрессивность грунтов к металлам

Величина удельного электро-сопротивления ρ , Ом · м	Более 100	20–100	10–20	5–10	Менее 5
Потеря массы образца, г	Менее 1	1–2	2–3	3–4	Более 4
Степень коррозионной активности	Низкая	Средняя	Повышенная	Высокая	Весьма высокая

Наибольшей коррозионной активностью к металлическим конструкциям обладают торфяные, засоленные и болотные грунты, а также глинистые с влажностью в интервале 10–25 %, при высоких значениях кислотности (рН 2–3) и щелочности (рН 11–14), насыщенные кислородом, сероводородом и с высоким содержанием хлоридов.

Помимо **грунтовой** (почвенной) **коррозии** различают также **биокоррозию**, связанную с воздействием на металл находящихся в грунте микроорганизмов (сульфатовосстанавливающие тионовые, железистые и другие бактерии). При пересечении трассой стального трубопровода линий электропередач, электрофицированных железных дорог и др. возможно развитие коррозии от блуждающих токов.

Потери от коррозии приносят огромный ущерб. Ежегодно более 5 % заложенного в грунты металла выходит из строя. Основными способами защиты подземных металлических конструкций от коррозии являются противокоррозионные изолирующие покрытия (битумные, цементные, поливинилхлоридные, а также полиэтиленовые ленты и др.). Для борьбы с блуждающими токами устраивают специальную электрохимическую защиту.

§ 3. Несвязные грунты

Группа несвязных дисперсных грунтов объединяет рыхлые, сыпучие осадочные образования с очень слабыми (или практически отсутствующими) структурными связями. Различают два вида несвязных грунтов: песчаные и крупнообломочные.

Песчаные грунты характеризуются преобладанием частиц размером 0,05–2 мм. По ГОСТу 25100–95, песок — это несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером меньше 2 мм составляет более 50 %. В сухом состоянии пески лишены структурных

связей и находятся в сыпучем (рыхлом) состоянии. При увеличении влажности они приобретают некоторую связность. Среди песчаных грунтов выделяют разновидности по гранулометрическому составу, степени неоднородности, коэффициенту пористости, степени плотности и содержанию органических веществ.

По гранулометрическому составу в соответствии с ГОСТ 25100-95 песок подразделяется на разновидности (табл. 22.3)

Таблица 22.3

Гранулометрические разновидности песков

Разновидность грунтов	Размер зерен, частиц, d, мм	Содержание зерен, частиц, % по массе
Песок:		
равелистый	> 2	> 25
крупный	> 0,50	> 50
средней крупности	> 0,25	> 50
мелкий	> 0,10	≥ 75
пылеватый	> 0,10	< 75

В инженерно-геологической практике выделяют также **пески глинистые**, содержащие свыше 3% глинистых частиц и не обладающие свойством пластичности ($I_p < 1$).

Плотность сложения песков оценивается по величине коэффициента пористости e (табл. 22.4).

Таблица 22.4

Плотность сложения песков в зависимости от коэффициента пористости

Плотность сложения песков	Коэффициент пористости e		
	Пески равелистые, крупные и средние	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотный	< 0,55	< 0,60	< 0,60
Средней плотности	0,55–0,70	0,60–0,75	0,60–0,80
Рыхлый	> 0,70	> 0,75	> 0,80

Оценивать качество уплотнения песков в насыпи, прогнозировать изменение их плотности под действием статических и динамических нагрузок можно и с помощью другого показателя — **степени плотности песков, I_D** .

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

где e — коэффициент пористости при естественном или искусственном сложении; e_{\max} — коэффициент пористости в предельно-плотном сложении; e_{\min} — то же в предельно-рыхлом.

В зависимости от величины I_D выделяют пески: рыхлые (слабоуплотненные) от 0 до 0,33; средней плотности 0,33–0,66 и плотные 0,66–1,0.

По относительному содержанию органических веществ пески подразделяют на две разновидности: с примесью органических веществ — от 0,03 до 0,1 и без их примеси — менее 0,03.

Прочность песчаных грунтов характеризуют с помощью угла внутреннего трения (φ°). В песчаных грунтах он примерно равен углу естественного откоса, т. е. уклону, который образует свободная поверхность сухих песков (откос). Наибольшей прочностью обладают пески, в составе которых преобладают кварц, полевые шпаты и другие, стойкие к процессам выветривания минералы.

Для песчаных грунтов характерна их относительно высокая водопроницаемость (от 1,0 м/сут для пылеватых песков и до 100 м/сут для равелистых песков).

В целом пески относятся к слабосжимаемым, устойчивым и надежным основаниям для различных зданий и сооружений. На песках возведены ряд высотных зданий в г. Москве, Цимлянская гидроэлектростанция и другие сложные и ответственные объекты.

Однако в ряде случаев пески могут обладать и такими неблагоприятными свойствами, как пльвунность, способность к суффозионному выносу тонких частиц, подверженность влиянию вибрации и др. Особенно опасна для строительства пльвунность песков. **Пльвунами** называют некоторые виды водонасыщенных тонко- и мелкозернистых пылеватых песков, супесей и других рыхлых отложений, которые при вскрытии их строительными и другими вы-

емками приходят в разжиженное состояние и ведут себя наподобие тяжелой, вязкой жидкости. Для борьбы с плывунами применяют замораживание, химическое закрепление и осушение с помощью иглофильтровых установок.

Крупнообломочный грунт — это несвязный минеральный грунт, в котором масса частиц размером крупнее 2 мм составляет более 50%.

По гранулометрическому составу в соответствии с ГОСТ 25100-95 его подразделяют на:

валунный (глыбовый) — масса частиц крупнее 200 мм более 50%.

галечниковый (щебенистый) — масса частиц крупнее 10 мм более 50%.

гравийный (дресвяной) — масса частиц крупнее 2 мм более 50%.

Свойства крупнообломочных грунтов в большой степени зависят от вида и содержания заполнителя. При наличии в крупнообломочных грунтах песчаного заполнителя более 40% или глинистого заполнителя более 30% от общей массы воздушно-сухого грунта в наименование крупнообломочного грунта следует добавлять наименование вида заполнителя (например, гравийный грунт с песчаным заполнителем).

Прочность крупнообломочных грунтов зависит от минерального состава обломков и степени их выветрелости. Наибольшей прочностью обладают крупнообломочные грунты, состоящие из магматических пород или из таких метаморфических пород, как кварциты и гнейсы.

Крупнообломочные грунты отличаются очень высокой водопроницаемостью. Скорость фильтрации воды в них превышает сотни метров в сутки. При вскрытии строительными котлованами водонасыщенных крупнообломочных грунтов значительную сложность вызывает борьба с большими притоками воды. При наличии в крупнообломочных грунтах песчаного и особенно глинистого заполнителя водопроницаемость их резко снижается.

Под статическими нагрузками крупнообломочные грунты (особенно лишенные заполнителя) практически не уплотняются и относятся к категории слабосжимаемых грунтов как в сухом, так и во влажном состоянии. При динамических нагрузках возможно их значительное уплотнение.

Глава 23. ГРУНТЫ ОСОБОГО СОСТОЯНИЯ, СОСТАВА И СВОЙСТВ (СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ГРУНТЫ)

К **специфическим грунтам**, т. е. к грунтам особого состава, состояния и свойств, относят многолетнемерзлые, просадочные, набухающие, органоминеральные и органические, засоленные, элювиальные и техногенные грунты (СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства»).

От других типов грунтов они отличаются неблагоприятными со строительной точки зрения свойствами, а потому требуют более детального инженерно-геологического изучения. В районах распространения специфических грунтов проводятся дополнительные инженерно-геологические исследования, которые регламентируются специальным Сводом правил — СП 11-105-97, часть III.

Для обеспечения необходимой устойчивости и нормальной эксплуатации зданий и сооружений, возводимых на специфических грунтах, применяют различные водозащитные и конструктивные мероприятия, а также меры по ликвидации самих неблагоприятных свойств — просадочности, набухания, сильной сжимаемости и др.

§ 1. Многолетнемерзлые грунты

Одним из важнейших факторов, определяющих инженерно-геологические условия в северных и восточных районах России, является широкое распространение в них **многолетнемерзлых** (синоним — **вечномерзлых**) **грунтов**.

Следует различать многолетнемерзлые и сезонномерзлые грунты. **Сезонномерзлый грунт** находится в мерзлом состоянии лишь периодически в течение холодного периода года. В мерзлом состоянии он имеет отрицательную температуру, содержит лед и характеризуется криогенными структурными связями. В теплое время грунт оттаивает. Это явление называется **сезонным промерзанием**.

Глубина сезонного промерзания грунтов (d_f) зависит от климатических особенностей района, состава пород, мощности снегового покрова и от других факторов. Величина d_f колеблется от долей метра до 3–4 м.

В СНиП 2.01.01–82 «Строительная климатология и геофизика» приведена карта нормативной глубины сезонного промерзания грунтов на территории нашей страны. С ее помощью определяют величину d_f для конкретных районов и проектируют фундаменты таким образом, чтобы глубина их заложения превышала величину сезонного промерзания. Это важно, так как при оттаивании весной мерзлый грунт теряет свою несущую способность и становится неустойчивым основанием. Глубину сезонного промерзания (d_f) определяют также по расчетным формулам и по итогам многолетних наблюдений за глубиной промерзания в данной местности.

Общие представления о многолетнемерзлых грунтах. Согласно ГОСТ 25100–95 к ним относятся грунты, которые в условиях природного залегания находятся в мерзлом состоянии в течение трех лет и более. Зона развития многолетнемерзлых грунтов называется криолитозоной или зоной многолетней мерзлоты.

Зона многолетней мерзлоты занимает 64% всей площади России (рис. 23.1) и 25% суши земного шара. Кроме России многолетнемерзлые грунты распространены на Аляске, в Гренландии, на севере Канады, в высокогорных районах Центральной Азии и в других местах.

Многолетнемерзлые грунты в нашей стране подвержены отчетливо выраженной широтной зональности: 1) сплошное распространение на территории Крайнего Севера; 2) несплошное (прерывистое) распространение в районах южнее этой зоны, включая островное — в районах еще далее к югу, вплоть до границ с Монголией и Китаем (рис. 23.1). Температура многолетнемерзлых грунтов в этих зонах колеблется от 0 до -10 °С.

Происхождение вечной мерзлоты связывают с оледенением Земли в четвертичный период. По мнению многих ученых, само существование вечной мерзлоты не является вечным, поскольку при глобальном потеплении климата она может исчезнуть полностью.

Специфика многолетнемерзлых грунтов заключается в том, что в них постоянно содержится лед. При повышении температуры (выше 0 °С) мерзлый грунт оттаивает и его прочность резко снижается,

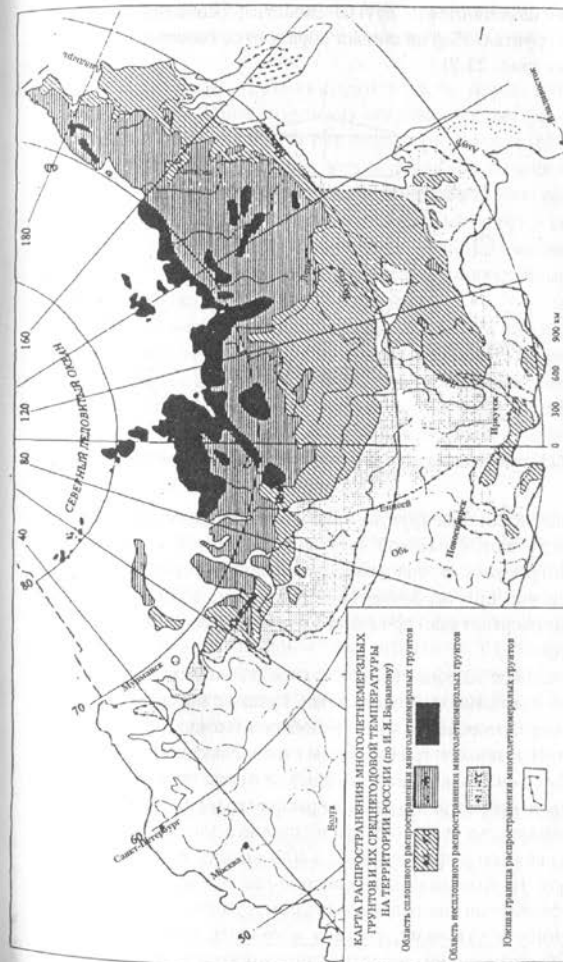


Рис. 23.1. Карта распространения многолетнемерзлых грунтов на территории России

качественно изменяются и другие свойства, особенно в пылевато-глинистых грунтах. Под зданиями образуются своеобразные «чашы» протаивания (рис. 23.2).

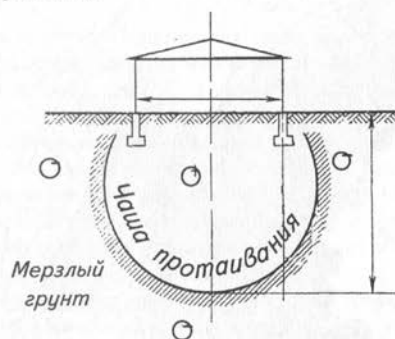


Рис. 23.2. Чаша протаивания многолетнемерзлого грунта под зданием

Многолетнемерзлые грунты, как ни один из других специфических грунтов, отличаются высокой чувствительностью к изменению температурного режима. В этих условиях коренным образом изменяются гидрогеологические особенности территории, возникают опасные криогенные (мерзлотные) процессы — термокарст, морозное пучение, наледи и др.

Строительное освоение криолитозоны (зоны многолетней мерзлоты) связано с огромными трудностями. Видный американский ученый в области мерзлотоведения А. Л. Уошборн отмечал, что «инженерные проблемы, связанные с гражданским строительством и сооружением дорог, захоронением жидких и твердых отходов, прокладкой нефте- и газопроводов, возрастают в районах распространения многолетнемерзлых грунтов во сто крат...». В нашей стране в зоне многолетней мерзлоты подвержено деформациям до 40% зданий и сооружений из-за недостаточного внимания к инженерно-геологическому изучению и прогнозу поведения многолетнемерзлых грунтов.

Особенности строения, состава и свойств многолетнемерзлых грунтов. В вертикальном разрезе толщи многолетнемерзлых грунтов

различают три слоя: 1) деятельный слой; 2) собственно многолетняя мерзлота и 3) подмерзлотный слой (талые грунты с положительной температурой).

Деятельный слой — самая верхняя часть толщи многолетней мерзлоты, подверженная сезонному оттаиванию (летом) и промерзанию (зимой). Мощность деятельного слоя зависит от географического положения местности, состава пород, экспозиции склона и т. д. и колеблется от 0,2–0,5 м (тундровые зоны и зоны арктических пустынь) до 3–4 м. Наибольшая мощность отмечается в песчаных и крупнообломочных грунтах, наименьшая — в органоминеральных. В деятельном слое даже в зимнее время могут находиться талики, т. е. оттаивающие (талые) участки горных пород.

Определение мощности деятельного слоя, его состава и состояния, а также расположения в нем талого грунта имеет большое практическое значение. В связи с этим в геологическом разрезе выделяют два типа мерзлоты: I тип — сливающая мерзлота, при которой деятельный слой при замерзании непосредственно переходит в многолетнюю мерзлоту, и II тип — несливающая мерзлота, когда при замерзании между ними остается слой талого грунта.

Многолетняя мерзлота — толща грунтов с постоянной отрицательной температурой, имеет мощность от нескольких метров до нескольких сотен метров. Максимальная мощность зарегистрирована за Полярным кругом в верховьях р. Мархи в Сибири — 1450 м. Под долинами крупных сибирских рек мерзлота может совсем отсутствовать, что связано с выделением ими огромного количества тепла. В зоне несплошного (прерывистого) распространения мощность многолетнемерзлых грунтов обычно не превышает 30–60 м, а в зоне островного распространения снижается до 10–15 м.

По физическому состоянию и составу среди многолетнемерзлых грунтов выделяются три вида (ГОСТ 25100–95):

- 1) **твердомерзлые** — в которых дисперсный грунт прочно сцементирован льдом, характеризуется хрупким разрушением и незначительной сжимаемостью под внешней нагрузкой. В твердомерзлом состоянии песчано-глинистые грунты переходят при температуре ниже $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$;

- 2) **пластичномерзлые** — в них кроме льда-цемента содержится незамерзшая вода, благодаря которой они обладают вязкостью и повышенной сжимаемостью под внешней нагрузкой;
- 3) **сыпучемерзлые** — маловлажные песчаные и крупнообломочные грунты с отрицательной температурой, но не цементированные льдом, а потому сохраняющие рыхлость.

Наличие льда в грунтах существенно изменяет не только их строение, но и почти все физико-механические свойства. Лед может находиться в многолетнемерзлых грунтах не только в виде льда-цемента, заполняющего поры, но и в виде различных включений, линз, жил, прослоев, иногда в виде мощных толщ — до 20 м. Отношение объема льда всех видов, содержащегося в мерзлом грунте, к его объему называют **суммарной льдистостью**.

При оттаивании многолетнемерзлые грунты резко снижают свою прочность и способны давать значительные тепловые осадки (просадки), нередко достигающие 10–15% от мощности оттаявшей толщи. Подобные значительные осадки неизбежно будут приводить к серьезным деформациям и даже разрушениям различных сооружений, возведенных без учета специфических особенностей многолетнемерзлых грунтов.

Строительство на многолетнемерзлых грунтах регламентируется специальными нормами и правилами (СНиП 2.02.04–88). При проектировании различных зданий и сооружений учитывают не только их конструктивные и технологические особенности, но и характер теплового и механического взаимодействия с мерзлой толщей грунтов. Очень важен прогноз возможных изменений мерзлотных условий как в ходе строительства, так и при эксплуатации зданий и сооружений. Все эти данные получают на основе специальных инженерно-геокриологических работ, в состав которых входят инженерно-геологические, мерзлотные и гидрогеологические исследования.

По результатам лабораторных и полевых испытаний определяют основные физические и деформационно-прочностные характеристики грунтов, а также их теплофизические свойства, вид криогенной текстуры, суммарную льдистость, температурный режим мерзлых и оттаивающих грунтов, величину относительной осадки грунта при оттаивании и др.

Полученные данные необходимы для выбора следующих принципов строительства на многолетнемерзлых грунтах:

- принцип I — с сохранением грунтов основания в мерзлом состоянии в течение всего периода строительства и эксплуатации зданий и сооружений;
- принцип II — с устранением мерзлого состояния в виде:
 - а) предварительного искусственного оттаивания и уплотнения грунтов основания до начала строительства;
 - б) с допущением их оттаивания в период эксплуатации зданий и сооружений и
 - в) замены льдонасыщенных мерзлых грунтов талыми.

Принцип I применяют в тех случаях, когда возводятся неотопляемые помещения или же когда имеется возможность принять эффективные меры по недопущению оттаивания в основании отапливаемых помещений. Одним из лучших способов сохранения пород в мерзлом состоянии является устройство столбовых свайных фундаментов и фундаментов-стоек с циркуляцией воздуха под зданиями, а также устройство в зданиях холодных (вентилируемых) подполий или холодных первых этажей зданий. В мерзлых грунтах сваи погружают забивкой в предварительно пробуренные лидерные скважины, диаметр которых меньше диаметра свай.

В случае, когда сохранить грунты в мерзлом состоянии невозможно (высокая суммарная льдистость и др.) или экономически нецелесообразно, применяют *принцип II* — постепенное предпостроечное оттаивание и уплотнение грунтов основания. Достигается это посредством пара, горячей воды, электроток и других источников тепла и последующим закреплением или заменой оттаявшего грунта.

В районах распространения многолетнемерзлых грунтов наиболее благоприятны для строительства участки, сложенные скальными или сыпучемерзлыми (песками, гравием, щебнем и др.) грунтами при глубоком залегании грунтовых вод. Во всех остальных случаях строительное освоение многолетнемерзлых грунтов вызывает значительные трудности.

При производстве инженерно-геологических и строительных работ необходимо обращать особое внимание на чрезвычайную «чувствительность» многолетнемерзлых грунтов к техногенным воздействиям и в связи с этим строго выполнять все требования к охране природной среды (сохранять растительный покров, отводить поверхностные

воды со строительных площадок, поддерживать, установленный расчетный температурный режим в основании сооружений и т. д.). В частности, следует учитывать, что движение самоходных буровых установок, тракторов, машин и других видов транспорта (особенно гусеничного) до установления устойчивого снегового покрова разрушает растительные сообщества из мхов, лишайников и других растений, формирующих почвенно-растительный слой (рис. 23.3). В результате развиваются термоэрозионные, термокарстовые и другие опасные мерзлотно-геологические процессы (см. гл. 29).



Рис. 23.3. Движение гусеничного транспорта в зоне многолетней мерзлоты возможно лишь после установления устойчивого снегового покрова

§ 2. Просадочные грунты

Общие представления. Просадочными называют пылеватоглинистые грунты, которые при замачивании дают **просадку** (дополнительную вертикальную деформацию) с величиной относительной деформации $\epsilon_{\text{с}} \geq 0,01$. В отличие от обычной осадки, просадка приводит к коренному изменению структуры грунта.

Просадка свойственна, прежде всего, лессовым суглинкам и супесям. Лишь в отдельных случаях она может возникать в пылеватых песках с высокой структурной прочностью, а также в некоторых техногенных грунтах (отходы промышленного производства, насыпные грунты и др.).

Значение лессовых грунтов в строительной практике трудно переоценить. Занимая огромные площади (как правило, в районах наиболее обжитых и густонаселенных), они нередко служат причиной недопустимых деформаций зданий и сооружений. Во многих случаях это связано с недостаточным учетом их специфических особенностей и в первую очередь — просадочности.

Лёссовые (нем. *löss* — рыхлый, несвязный) **грунты** имеют широкое распространение в мире, особенно в Европе и Азии, занимая площадь около 13 млн км². Почти сплошным покровом лёссовые породы лежат на большей части территории юга европейской части России (Нижний Дон, Предкавказье, Заволжье и др.), а также на юге Западной Сибири и в ряде других степных районов.

Значительные площади заняты ими на юге Украины, в восточном Закавказье, в Молдове, Восточной Европе, в Китае, Средней Азии, Монголии и во многих других районах мира.

Среди лёссовых отложений различают типичный лёсс, преимущественно эолового (ветрового) происхождения, и лёссовидные суглинки (переотложенные первичные образования). Резкую границу между ними проводить затруднительно, поэтому в инженерно-геологических целях их обычно объединяют единым термином «лёссовые породы» или «лёссовые грунты».

Условия залегания лёссовых пород достаточно однообразны. Независимо от гипсометрического положения отдельных положительных форм рельефа, они покрывают плоские водоразделы, их склоны, поверхность высоких террас и т. д.

Мощность лёссовых толщ изменяется от первых метров (в северной части зоны их распространения) до 20–30 м в южных районах нашей страны, реже до 80 м и более (юго-восточная часть Предкавказья, Западная Сибирь). В мире известны районы, где мощность лёссовой толщи достигает 150–200 м и даже 400 м (лёссовое плато в Центральном Китае).

По вопросу образования лессовых пород среди ученых-лессоведов существуют различные представления (эоловая гипотеза, криогенная, пролювиальная, аллювиальная и др.). В последнее время известность получила космическая гипотеза, связывающая образование лессовых пород с поступлением на Землю пыли (мелкозема) из космического пространства (Ш. Э. Усупаев и др.).

Отличительные признаки лессовых грунтов следующие: 1) желто-бурая и палево-желтая окраска; 2) высокая пылеватость (содержание пылевой фракции (0,05–0,005 мм) свыше 50% при небольшом количестве глинистых частиц); 3) повышенная пористость (40–55%) с сетью макропор (размером 1–3 мм), видимых невооруженным глазом; 4) невысокая природная влажность ($S_r = 0,4–0,5$), поэтому лессовый грунт, помещенный в воду, быстро размокает; 5) способность держать вертикальный откос (до 10 м) (рис. 23.4); 6) высокая карбонатность; 7) однородная (неслоистая) текстура, прерываемая прослоями погребенной почвы.



Рис. 23.4. Лессовые суглинки на побережье Таганрогского залива

По В. А. Обручеву, типичные лессы обладают полным комплексом лессовых черт, у лессовидных пород недостает одной или нескольких лессовых черт.

Лессовые породы отличаются резкой анизотропией фильтрационных свойств, что связано с вертикальной (преимущественно) ориентировкой макропор. С этой их особенностью связано медленное растекание в стороны куполов грунтовых вод, нередко формирующихся в лессовой толще на городских территориях, а также достаточно быстрый подъем уровня грунтовых вод (до 1 м в год) при подтоплении.

Еще одна отличительная особенность лессовых пород — цикличность. Проявляется она в ритмичном чередовании типичных лессов с погребенными почвами и непросадочными лессовидными суглинками.

Минеральный состав лессовых грунтов характеризуется наличием водоустойчивых минералов (кварца, полевых шпатов и др.) — до 50–60%, глинистых (гидрослюда, а также каолинита, монтмориллонита и др.) — до 15–30% и водорастворимых минералов (хлориды, сульфаты, карбонаты и др.) — до 5–15%.

Просадочность лессовых пород обусловлена особенностями их формирования в условиях сухого климата при малой влажности, в результате чего создаются структурные связи, способствующие возникновению и сохранению в породе «недоуплотненного состояния» (по Н. Я. Денисову).

Механизм просадки может быть представлен следующим образом. Вода, проникая в маловлажную высокопористую пылеватую лессовую породу, разрушает водонестойчивые структурные связи, при этом происходит ее доуплотнение, пористость уменьшается и приходит в соответствие с напряженным состоянием. Крупные агрегаты распадаются, и формируется более плотная упаковка частиц.

Внешне этот процесс выражается в уменьшении объема лессовых пород и неравномерном оседании поверхности земли. На поверхности водоразделов, сложенных лессовыми породами, при увлажнении их атмосферными осадками часто формируются просадочные блюдца размерами до 50–100 м в поперечнике и глубиной от долей метра до 1–2 м.

Несравненно больше просадочные деформации лессовых пород выражены при техногенном замачивании (утечки воды из оросительных каналов, водохранилищ, водонесущих коммуникаций, при интенсивном поливе парков и садов и т. д.) (рис. 23.5).



Рис. 23.5. Просадка лессовых грунтов Северо-Ташкентского канала, происшедшая в течение первых трех месяцев его работы (фото Х.А. Аскарова)

Особенно интенсивно процесс доуплотнения лессовых грунтов происходит при техногенном замачивании и одновременном приложении нагрузки. В этих случаях просадка имеет обычно провальный характер и может достигать нескольких десятков сантиметров. В зданиях и сооружениях вследствие неравномерной просадочной деформации могут появляться трещины и более серьезные повреждения (рис. 23.6). Величина

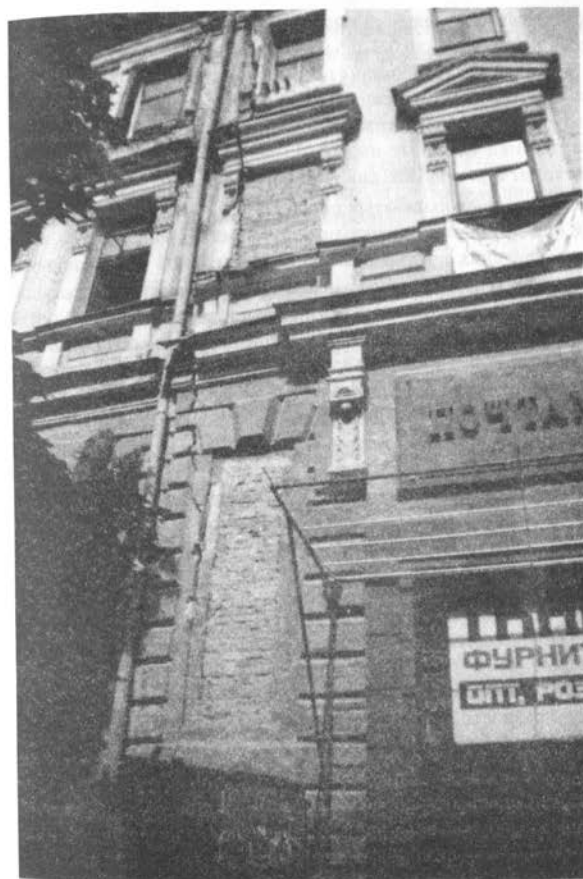


Рис. 23.6. Деформированное здание на лессовых просадочных грунтах (г. Ростов-на-Дону)

просадки дна оросительного канала может достигать 1,0–2,0 м, ширина трещин в откосах — до 0,3–0,5 м.

По вопросу формирования просадочности лессовых пород существуют и другие представления. Так, например, большое развитие получила гипотеза Е.М. Сергеева и А.В. Минервина (1960 г.) о мерзлотном выветривании лессовых пород. По мнению этих ученых, просадка происходит в результате циклического сезонного промерзания-оттаивания исходных пылеватых пород.

Количественная оценка просадочности производится с помощью следующих показателей: 1) относительной просадочности ϵ_{sl} ; 2) начального просадочного давления P_{sl} и 3) начальной просадочной влажности W_{sl} . Для целей проектирования зданий и сооружений необходимо также определение типа грунтовых условий по просадочности (I или II типа).

Эти показатели определяют как в лаборатории с помощью компрессионных приборов, так и в полевых условиях путем наблюдения за осадкой специальных штампов и дна опытных котлованов, заполненных водой.

Относительная просадочность (ϵ_{sl}) определяется по формуле:

$$\epsilon_{sl} = \frac{h - h'}{h^0},$$

где h — высота образца грунта при заданном давлении; h' — то же после замачивания; h^0 — высота образца при давлении, равном природному.

При значениях $\epsilon_{sl} \geq 0,01$ грунт считается просадочным. Просадочные разности лессовых грунтов обычно находятся в верхней, а непросадочные ($\epsilon_{sl} < 0,01$) в нижней, как правило, обводненной лессовой толще.

Относительную просадочность лессовых грунтов (ϵ_{sl}) определяют в компрессионных приборах по методам: одной кривой (испытание одного образца) (рис. 23.7) и двух кривых, основанного на испытании двух идентичных образцов, отобранных из одного монолита (ГОСТ 23161–78). Первый образец испытывают при естественной влажности, а второй — в состоянии полного водонасыщения.

Относительную просадочность грунта, испытанного по методу одной кривой (рис. 23.7), определяют по формуле

$$\epsilon_{sl} = \frac{e_p - e'_p}{1 + e_0},$$

где e_p — коэффициент пористости при заданном давлении P и при естественной влажности; e'_p — то же после полного водонасыщения; e_0 — начальный коэффициент пористости.

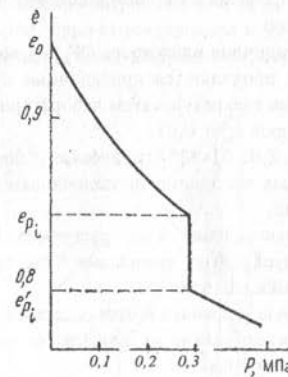


Рис. 23.7. Компрессионная кривая лессового просадочного грунта (метод одной кривой с замачиванием при $P = 0,3$ МПа)

Испытания грунтов по методу двух кривых позволяет определять ϵ_{sl} при различных давлениях.

Предварительную оценку величины ϵ_{sl} можно получить, зная лишь природную влажность (W) и коэффициент пористости (e) лессового грунта (СП 11-105–97, часть III, прилож. Б). Так, например, при $W = 16\%$ и коэффициенте пористости $e = 0,7$, величина ϵ_{sl} при $P = 0,1$ МПа будет равна 0,008; при 0,2 МПа — 0,016 и при 0,3 МПа — 0,021.

Начальное просадочное давление (P_{s1}) — это минимальное давление, при котором начинают проявляться просадочные свойства лессовых грунтов. Чем оно ниже, тем грунт считается более просадочным.

Величину P_{s1} определяют по тому давлению, при котором относительная просадочность $\varepsilon_{s1} = 0,01$. Ее величина колеблется для различных типов лессовых просадочных грунтов от 0,02 до 0,3 МПа.

Определение P_{s1} позволяет установить величину деформируемой зоны, т. е. зоны, в пределах которой происходит просадка грунта от нагрузки фундаментов.

Начальная просадочная влажность (W_{s1}) — минимальная влажность, при которой проявляются просадочные свойства лессовых грунтов. Ее определяют по результатам лабораторных испытаний как влажность, при которой $\varepsilon_{s1} = 0,01$.

Согласно СНиП 2.02.01-83*, грунтовые условия строительных площадок, сложенных лессовыми просадочными грунтами, подразделяются на два типа:

I тип — грунтовые условия, в которых просадка от собственного веса грунта отсутствует или не превышает 5 см; просадка возможна в основном от внешней нагрузки.

II тип — грунтовые условия, в которых, помимо просадки грунтов от внешней нагрузки, возможна их просадка от собственного веса и величина ее превышает 5 см.

Тип грунтовых условий устанавливают, исходя из величины относительной просадочности грунтов (ε_{s1}), числа слоев и мощности каждого просадочного слоя.

Наиболее достоверно I или II тип грунтовых условий определяют путем длительного замачивания опытных котлованов (в течение 1-3 месяцев) и наблюдений за просадкой грунтов с помощью поверхностных и глубинных марок.

Строительство на лессовых просадочных грунтах. Согласно СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений», при возможности замачивания грунтов основания следует предусматривать одно из следующих мероприятий:

- а) устранение просадочных свойств грунтов в пределах всей просадочной толщи;

- б) прорезку просадочной толщи глубокими фундаментами, в том числе свайными и массивами из закрепленного грунта;
- в) комплекс мероприятий, включающий частичное устранение просадочных свойств грунтов, а также водозащитные и конструктивные мероприятия.

Просадочные свойства грунтов устраняют с помощью уплотнения (трамбование тяжелыми трамбовками, устройством грунтовых подушек, предварительным замачиванием грунтов, вытрамбованием котлованов под фундаменты (рис. 23.8) и др.), закрепления (химическим, термическим, буро-смесительным и другими способами) и армирования (введение специальных пленок, сеток и т. п.).

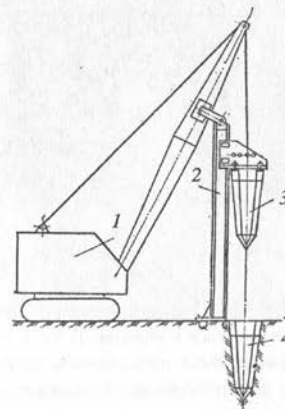


Рис. 23.8. Вытрамбование котлована:

- 1 — кран-экскаватор; 2 — направляющая стойка; 3 — трамбовка; 4 — котлован

К водозащитным мероприятиям относят планировку строительных площадок для отвода поверхностных вод, предотвращение утечек из водонесущих коммуникаций, устройство отмосток вокруг зданий и т. д. Конструктивные меры должны быть направлены на снижение чувствительности сооружения к возможным просадочным дефор-

мациям (устройство железобетонных или армокаменных поясов, применение гибких конструкций, разрезка сооружения на отдельные отсеки и т. п.) (рис. 23.9).



Рис. 23.9. Металлические стяжки по периметру стен деформированного здания

Выбор мероприятий при строительстве на лессовых просадочных грунтах должен производиться с учетом: 1) типа грунтовых условий по просадочности; 2) мощности просадочной толщи и расчетной величины просадки; 3) конструктивных особенностей проектируемых зданий и сооружений и 4) вида возможного замачивания.

Особое внимание при проектировании и строительстве различных зданий и сооружений следует уделять грунтовым условиям II типа по просадочности. Помимо устранения просадочных свойств грунтов или прорезки просадочной толщи глубокими фундаментами, здесь должны в обязательном порядке предусматриваться водозащитные мероприятия, а также соответствующая компоновка генплана застраиваемой территории.

§ 3. Набухающие грунты

Общие представления. К набухающим относят грунты, которые при замачивании увеличиваются в объеме и имеют относительную деформацию набухания без нагрузки $\epsilon_{sw} \geq 0,04$. При высыхании набухающие грунты уменьшаются в объеме, т. е. дают усадку, часто сопровождаемую образованием трещин усадки (рис. 23.10). Процесс набухания — усадки грунтов обратим: чем больше набухание, тем больше будет усадка.



Рис. 23.10. Трещины усадки в озерно-аллювиальных глинистых осадках (дельта Сулака)

Набухающие грунты (главным образом это глины, значительно реже тяжелые суглинки) распространены на всех континентах. Деформации зданий и сооружений, возведенных на набухающих грунтах, отмечены в Индии, США, Бирме, Египте, Южно-Африканской Республике, Румынии, Болгарии и в других странах.

В России набухающие грунты занимают значительные площади, в основном в южных районах страны с засушливым климатом. Это районы — Среднего и Нижнего Поволжья, Центрального Предкавказья, юго-запада Западно-Сибирской низменности, равнинного Дагестана и др.

Распространены они в равнинных, реже предгорных районах, и приурочены к зонам сухих степей и полупустынь. Для районов развития покровных набухающих грунтов характерно незначительное количество атмосферных осадков, общий дефицит влажности воздуха, продолжительные периоды сушы в летнее время.

По условиям залегания набухающие грунты в отличие от лессовых просадочных пород могут занимать не только покровное положение, но и располагаться на значительной глубине от поверхности земли. Так, например, набухающие юрские глины КМА залегают на глубине более 400 м от поверхности земли.

Мощность набухающих грунтов колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров. Макроскопический облик набухающих грунтов отличается однородностью и массивной текстурой. Для многих разновидностей набухающих глин характерны иловатость, обогащение органическим материалом, микрослоистость. В сухом состоянии глины очень плотные, отвердевшие и при ударе молотком распадаются на угловатые обломки.

Формирование набухающих грунтов тесно связано с их генезисом и последующими стадиями литогенеза. Независимо от фацциально-генетической, возрастной и региональной принадлежности для набухающих грунтов характерен ряд общих признаков и черт. Это высокая дисперсность и пластичность, монтмориллонитово-гидрослюдистый состав, неводостойкий характер структурных связей, значительные уплотненность и упрочненность в сухом состоянии, наличие трещин усадки (шириной от 0,1 до 15 см), разбивающих толщу глин на отдельные глыбы и уходящих на глубину до 3–5 м и более от поверхности земли (рис. 23.11).

Наибольшим набуханием (а следовательно, и наибольшей опасностью при строительстве) обладают **переуплотненные** слабоцементированные глины, формирующиеся в условиях засушливого климата в мелководных бассейнах и содержащие в своем составе **монтмориллонит** — глинистый минерал с подвижной кристаллической решеткой. В строительной практике хорошо известны монтмориллонитовые четвертичные, третичные (хвалынские, сарматские, аральские и др.) и юрские глины, создающие значительные трудности при их освоении.

Количественные показатели процесса набухания — **усадки** определяются в грунтоведческих лабораториях на специальных приборах.



Рис. 23.11. Один из шурфов, пройденный в дельте Сулака. В забое видны трещины усадки (вид сверху)

Согласно ГОСТ 24143–80, используются следующие показатели: относительное набухание грунта без нагрузки и под нагрузкой, давление набухания и влажность набухания.

Относительное набухание грунта без нагрузки (свободное набухание) определяется по формуле:

$$\varepsilon_{sw} = \frac{h_k - h_n}{h_k},$$

где h_k — высота образца после набухания (конечная) и h_n — то же до набухания (начальная).

Грунты классифицируются как набухающие при $\varepsilon_{sw} \geq 0,04$; слабонабухающие $0,08 > \varepsilon_{sw} > 0,04$; средненабухающие $0,12 > \varepsilon_{sw} > 0,08$; сильнонабухающие $\varepsilon_{sw} > 0,12$.

Относительное набухание под нагрузкой определяется в интервале давления от 0,5 МПа до P_{sw} .

Давление набухания P_{sw} , МПа, — давление, возникающее в грунте при замачивании, в условиях, исключающих возможность увеличения его объема. Величина давления набухания может достигать значительных величин. Например, для хвалыньских глин Нижнего Поволжья оно может превышать 0,8–1,2 МПа, что приводит к деформациям малонагруженных зданий и сооружений.

Давление набухания измеряется в компрессионных приборах либо в приборах конструкции В. Ф. Чепик (РУНВ-1) и в других.

В Ростовском государственном строительном университете разработан прибор ПДНГ-1 (В. Д. Зотов, Л. В. Передельский, А. И. Семеновко), позволяющий замерять набухание и давление набухания глинистых грунтов в условиях трехосного напряженного состояния.

Проба грунта (образец-модель) помещается в камеру прибора (рис. 23.12). Набухание грунта измеряется с помощью индикаторов часового типа, при этом стенки камеры свободно перемещаются. Давление набухания определяется при неподвижных стенках. При замачивании образца оно передается через стенки и штоки на тензометрические кольца и измеряется с помощью тензометрических датчиков (тензостанция ИСН-20М).

Влажность набухания W_{sw} — влажность грунта после завершения процесса набухания и прекращения поглощения жидкости.

За показатели усадки принимаются относительная усадка ϵ_{sh} — объемное или линейное уменьшение размера образца при испарении из него влаги и влажность на пределе усадки W_{sh} , т. е. влажность грунта в момент резкого уменьшения усадки; соответствует минимальной пористости грунта.

Строительство на набухающих грунтах. Анализ деформаций различных зданий и сооружений, а также натурные наблюдения, проведенные в нашей стране и за рубежом, позволили установить, что набухание и усадка грунтов происходят в основном в результате:

- техногенного замачивания (утечки из водонесущих коммуникаций, фильтрация воды из каналов и др.);
- сезонного изменения влажности набухающих грунтов под влиянием климатических факторов (увлажнение в период с октября—ноября до мая—июня и высыхание в летний период) (рис. 23.13);

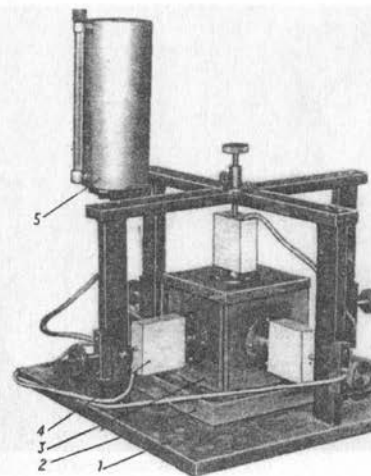


Рис. 23.12. Прибор для определения набухания и давления набухания глинистых грунтов в условиях трехосного напряженного состояния ПДНГ-1: 1 — станина; 2 — поддон; 3 — камера; 4 — тензометрическое кольцо; 5 — резервуар для воды

— изменение условий испарения влаги после застройки и асфальтирования территории.

Деформации усадки могут быть связаны также с искусственной подсушкой грунтового основания — доменными печами, дымовыми трубами и др. и транспирацией влаги деревьями.

Для обеспечения надежной эксплуатации зданий и сооружений, возведенных на набухающих грунтах, согласно СНиП 2.02.01–83*, применяют комплекс различных мер. В их число входят: 1) водозащитные мероприятия для предотвращения локального замачивания грунтов основания; 2) замена набухающего грунта местным ненабухающим, уплотненным до заданной плотности; 3) применение компенсирующих подушек, выравнивающих неравномерности подъема ленточных фундаментов при локальном замачивании основания; 4) полная или

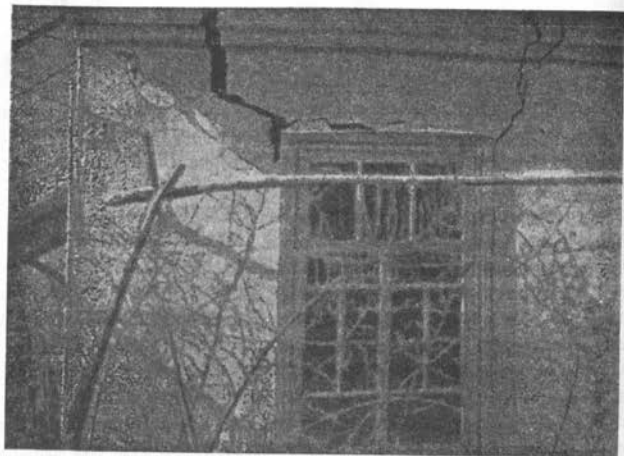


Рис. 23.13. Трещины в стене жилого дома вследствие усадки грунтового основания (пос. Черноморский Краснодарского края)

частичная прорезка набухающего грунта фундаментами, в оптимальном варианте — буронабивными сваями с уширенной пятой.

К конструктивным мероприятиям относят устройство железобетонных поясов, разрезку здания осадочными швами на отдельные отсеки и др. В ряде случаев надстройка 1–2 этажами деформированных малоэтажных зданий может оказаться эффективным мероприятием.

§ 4. Органоминеральные и органические грунты

Согласно ГОСТ 25100–95 «Грунты. Классификация», к **органоминеральным** грунтам относят илы, сапрпели и заторфованные грунты, а к **органическим** — торф.

Ранее в различных нормативных изданиях эти грунты обычно относили к «слабым» или «биогеиным» грунтам. Несмотря на успешное в целом строительство, по-прежнему нередки случаи деформаций и даже

аварий различных зданий и сооружений, возведенных без должного инженерно-геологического обоснования на грунтах этого типа.

По Л.С. Амаряну (1990), органоминеральные и органические грунты в генетическом отношении характеризуются общностью зарождения в водной или избыточно увлажненной среде с протеканием сложных микробиологических и биохимических процессов распада органических веществ и осадконакоплением в анаэробных условиях.

На территории нашей страны органоминеральные и органические грунты широко распространены в тундровой, лесотундровой и таежных зонах Западной и Восточной Сибири, на северо-западе и севере европейской части страны, а также на Дальнем Востоке и в других районах, где развиты болота. Вдоль низменных побережий Черного, Азовского и Каспийского морей значительные площади занимают морские илы.

К специфическим особенностям органоминеральных и органических грунтов, которые позволяют считать рассматриваемые грунты малопригодными для строительства на них различных сооружений, относятся (СП 11-105–97, часть III):

- малая прочность и большая сжимаемость с длительной консолидацией при уплотнении;
- высокая пористость и влажность;
- высокая гидрофильность и низкая водоотдача;
- склонность к разжижению при динамических воздействиях;
- разложение растительных остатков в зоне аэрации;
- наличие природного токсичного газа (метана);
- повышенная агрессивность к бетонам и коррозионная активность к металлическим конструкциям.

Большая и неравномерная сжимаемость органоминеральных и органических грунтов (модуль деформации обычно не превышает 5 МПа) может приводить к значительным осадкам зданий и сооружений (в отдельных случаях до 1,0–2,0 м) и к их авариям.

Ниже приводится инженерно-геологическая характеристика важнейших видов органоминеральных и органических грунтов.

Илы — водонасыщенные глинистые осадки морских и пресноводных водоемов, образовавшиеся при участии микробиологических процессов. В зависимости от их происхождения различают илы морские, лагунные, болотные, озерные и речные. Отличительные

особенности илов: высокая влажность, превышающая влажность на границе текучести, т. е. $W > W_L$, коэффициент пористости $e \geq 0,9$, наличие органического вещества в виде гумуса (до 10%), гнилостный запах, темная окраска и др.

Ил — начальная стадия формирования глинистой осадочной породы. В процессе преобразования по мере погружения в толщу земной коры илы превращаются в пластичные и затем уплотненные глины.

Влажность илов колеблется от 50 до 120%, повышаясь иногда до 200%, коэффициент пористости от 0,9 до 2,0 и более, содержание частиц $< 0,01$ мм составляет 30–50% по массе, а содержание частиц $> 0,25$ мм не превышает 5%. Прочность илов предельно мала, угол естественного откоса стремится к нулю, модуль деформации колеблется от 0,1 до 1,0 и редко превосходит 4,0 МПа. Наибольшей сжимаемостью отличаются глинистые илы (0,2–0,4 МПа), наименьшей — супесчаные илы (2,0–4,0 МПа).

Для илов характерны тиксотропные превращения, т. е. после механического воздействия структурные связи в грунтах разрушаются, однако с течением времени они могут восстанавливаться.

Сапрпель — пресноводный озерный ил с большим содержанием органического вещества. В зависимости от его содержания различают сапрпели органические ($> 70\%$), минерально-органические (50–70%), органоминеральные (30–50%) и минеральные (10–30%). По составу сапрпели бывают известковистые, кремнеземистые и детритовые. Для сапрпелей характерно переслаивание органического материала с песком и глиной. Содержание частиц размером более 0,25 мм составляет от 20 до 30%.

Мощность сапрпелей в современных озерах может достигать 8–10 м, иногда до 30–40 м. Наибольшее развитие они имеют в тундровой и таежной зонах, образуя слоистые толщи, нередко перекрытые торфом.

Как правило, сапрпели имеют коэффициент пористости $e > 3$, для них характерны текучая консистенция и способность к разжижению при динамическом воздействии. Сжимаемость очень высокая, наибольшее сжатие отмечается на начальных ступенях нагрузки.

Торф — порода темно-бурого и черного цвета с содержанием органического вещества более 50%. Образуется при отмирании и разложении болотной растительности, которая, падая на дно водоема,

из-за недостатка кислорода не сгнивает, а постепенно накапливается. Когда мощность торфа достигает 0,5 м и более, территорию относят к торфяникам. Образование торфяников возможно и из славин, т. е. плавающего растительного ковра, возникающего при заторфовывании озер (рис. 23.14). Мощность торфов в таежной зоне может достигать 8–10 м и более.

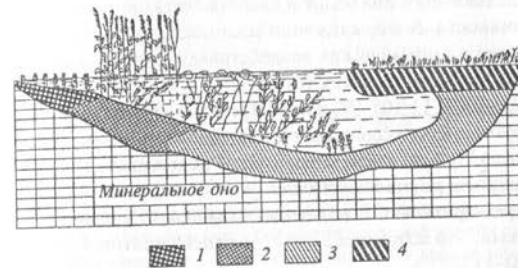


Рис. 23.14. Заторфовывание озера:

1 — осоковый торф; 2 — камышовый торф; 3 — сапрпель; 4 — славина

Пористость торфов очень высокая и достигает 90–95%. Плотность частиц грунта $\rho_s = 1,4–1,8$ г/см³, плотность сухого грунта $\rho_d = 0,2–0,4$ г/см³, поэтому в сухом состоянии торф может плавать в воде. При высыхании торф дает значительную усадку (40–50%). Показатели сжимаемости торфа в десятки и сотни раз выше, чем у обычных глинистых грунтов. Прочность торфов, как и илов, целесообразнее с целью получения достоверных результатов определять в полевых условиях с помощью различных пенетрометров, зондовых крыльчаток и методом статического зондирования. Лабораторные испытания в сдвиговых приборах дают завышенные значения C и φ° (Лысенко, 1980).

Заторфованные органо-минеральные грунты — песчаные и пеллато-глинистые грунты с содержанием органического вещества от 10 до 50%. Важное значение для оценки свойств этих грунтов имеет степень разложения растительных осадков (R_p).

Строительство на органо-минеральных и органических грунтах.

В последнее время, в связи с острой нехваткой пригодных для строительства земель, круг использования этих в принципе малопродных

грунтов, расширился. Особую актуальность этот вопрос приобрел в связи с освоением газовых и нефтяных месторождений в тундровой полосе севера России.

При проведении инженерно-геологических изысканий в этих районах помимо общепринятых исследований грунтовых условий территории прибегают, в частности, к детальному изучению: 1) рельефа минерального дна болот и свойств слагающих его отложений; 2) изменчивости деформационно-прочностных характеристик по глубине и при динамических воздействиях; 3) консолидационных и реологических характеристик грунтов.

Согласно СП 11-105-97, часть III, органо-минеральные и органические грунты могут использоваться в качестве основания сооружений, как правило, только после инженерной подготовки, которая может осуществляться двумя способами:

- предварительного осушения открытыми канавами или дренами, что позволяет за 6-12 месяцев уплотнить основание на 20-25%;
- предварительного уплотнения органических и других грунтов пригрузкой слоем минерального грунта для ускорения процесса консолидации основания.

После инженерной подготовки территории, сложенной органо-минеральными и органическими грунтами, при строительстве на них различных зданий и сооружений используют:

- 1) прорезку (полную или частичную) органо-минеральных и органических грунтов глубокими фундаментами, в том числе свайными. Так, например, хорошо известен опыт безаварийной эксплуатации многих уникальных зданий и сооружений (Исакиевский собор в Санкт-Петербурге, Кузнецкий металлургический комбинат и др.), возведенных на органо-минеральных грунтах с помощью глубоких свайных фундаментов;
- 2) полное выторфывание с заменой изъятых грунтов минеральными грунтами (песком, гравием, щебнем и т. д.) (рис. 23.15, по Г.И. Клиориной и др., 1984);
- 3) закрепление илов методами технической мелиорации.

В ряде случаев (при большой мощности органо-минеральных грунтов) применяют сборно-монолитные ленточные фундаменты или

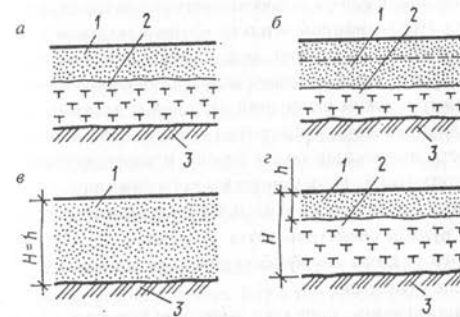


Рис. 23.15. Строительство на заторфованных территориях: а — пригрузка слоем минерального грунта; б — подсыпка поверхности (насыпь); в — полное выторфывание с заменой изъятых слоев минеральными грунтами; г — то же, частичное; 1 — насыпь минерального грунта; 2 — торф; 3 — минеральное дно

сплошную монолитную плиту с подсыпкой песчаного слоя мощностью 2-3 м (Зиангиров, 1986).

Повсеместно при строительстве на органо-минеральных и органических грунтах применяют конструктивные меры по снижению чувствительности конструкций зданий и сооружений к большим или неравномерным осадкам.

§ 5. Засоленные грунты

К **засоленным** относят дисперсные грунты пустынных и полупустынных, реже степных районов с повышенным содержанием водорастворимых минеральных солей (хлоридов, сульфатов, карбонатов и др.).

В соответствии с ГОСТ 25100-95 минимальное содержание водорастворимых солей (в % от веса воздушно-сухого грунта) в засоленных грунтах должно составлять в песках — 3%, супесях — 5, в суглинках и глинах — 10 и в крупнообломочных породах от 3 до 10%.

Основная специфическая особенность засоленных грунтов — развитие в них суффозионной осадки, которая возникает в результате выщелачивания из них солей при длительной фильтрации воды. Следствием суффозионной осадки являются большие и неравномерные деформации грунтовых оснований различных зданий и сооружений. За счет выщелачивания и растворения солей значительно повышаются агрессивность подземных вод к бетону и коррозионная активность грунтов к подземным металлическим конструкциям.

О необходимости учета этих неблагоприятных особенностей засоленных грунтов свидетельствует появление в СНиП 2.02.01-83* специального раздела по проектированию оснований, сложенных засоленными грунтами.

Засоленные грунты занимают значительные площади в засушливых районах Монголии, Китая, Ирака, Индии, в ряде государств Африки (Ливия, Египет, Алжир) и других районах. На территории России они встречаются в Прикаспийской и Причерноморской низменностях, в Среднем и Центральном Поволжье, на юге Западной и Восточной Сибири. Одна из разновидностей засоленных грунтов — заглипсованные грунты — широко развиты в районах близкого и дальнего зарубежья — Казахстана, Средней Азии, Закавказья.

Засоление грунтов обусловлено влиянием климатических, геолого-гидрогеологических, геоморфологических и других факторов. Определенное значение имеет золотой перенос солей. В современный период возрастает воздействие хозяйственной деятельности человека (вторичное засоление на орошаемых площадях и др.).

По Н.П. Затенацкой (1985), засоление грунтов может иметь первичный морской характер, т.е. грунты отлагались в засоленных морских бассейнах и содержат соли этих бассейнов; и вторичный — засоление происходит в результате вертикальной миграции солей из близко залегающих подземных вод повышенной солености. Мощность засоленных грунтов морского происхождения может достигать 10–15 м и более (побережье Черного и Азовского морей).

В засоленных грунтах соли находятся как в твердом состоянии в виде отдельных крупных кристаллов, друз (скоплений), тонкодисперсных кристаллов, рассеянных по всей массе, так и в поровых водах. Меняется окраска пород, появляются солевые корки, пятна и налеты солей, в том числе на плоскостях трещин.

Основными типами засоленных глинистых грунтов являются солончаки, солонцы, такыры и др.

Солончаки отличаются повышенным содержанием легкорастворимых натриевых солей и формируются на отрицательных формах рельефа — низменностях, поймах, дельтах, берегах соленых озер и лиманов и т. п. Солончаки бывают: 1) корковые, покрытые с поверхности солевой коркой; 2) пухлые с наличием рыхлых солей типа $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и 3) мокрые, адсорбирующие пары воды из воздуха. Для всех видов солончаков характерно близкое залегание грунтовых вод (1–3 м).

Солонцы (луговые или степные) залегают на более повышенных участках рельефа, чем солончаки. Как и все другие виды засоленных грунтов, в сухом состоянии отличаются значительной твердостью, а при увлажнении размокают, набухают, становятся пластичными и липкими. В глинистой фракции солонцов преобладают обменные катионы натрия, поэтому размокший солонец просыхает очень медленно.

Такыры — участки с засоленными глинистыми грунтами в пустынных зонах, с исключительно гладкой поверхностью, лишённые растительности и разбитые трещинами усадки на небольшие полигональные отдельные. В сухое время года такырные грунты очень твердые, но после увлажнения становятся вязкими и липкими, что весьма затрудняет проезд транспорта.

Для инженерно-геологической характеристики засоленных грунтов используют следующие количественные показатели:

- **степень засоленности** D_{sol} — отношение массы водорастворимых солей к массе сухого грунта (в %);
- **абсолютное и относительное суффозионное сжатие** (соответственно Δh_{sf} и ε_{sf}), т.е. показатели способности грунтов к уменьшению объема, вследствие химической суффозии (выноса). Наиболее достоверно определяются в полевых условиях методом статической нагрузки с длительным замачиванием;
- **степень выщелачивания солей** β — отношение массы выщелоченных из грунта солей к их начальной массе;
- **начальное давление суффозионного сжатия** P_{sf} — минимальное давление, при котором проявляется суффозионное сжатие грунта.

Строительство на засоленных грунтах без учета их специфических особенностей (степени засоленности и выщелачивания, состава водорастворимых солей, солевого и влажностного режима и т. д.) приводит к развитию неравномерной суффозионной осадки и коррозии строительных конструкций (рис. 23.16).

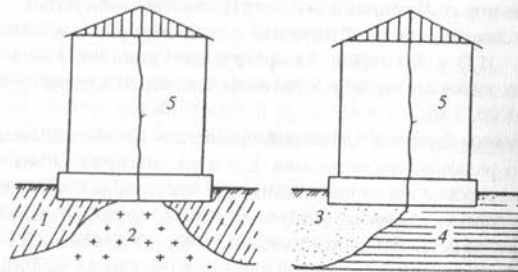


Рис. 23.16. Деформации зданий вследствие неравномерной осадки их оснований (по Р.С. Зянгинову и др., 1986):
1 — засоленный суглинок; 2 — порфирит; 3 — пылеватый засоленный песок; 4 — глина загипсованная; 5 — трещина

Для предотвращения или устранения возможных деформаций при строительстве на засоленных грунтах различных объектов применяют следующие мероприятия:

- прекращение или замедление движения фильтрационного потока (глинистые, битумные, цементные водонепроницаемые завесы);
- прорезку толщ засоленных грунтов свайными и иными фундаментами, с установкой их на незасоленные грунты;
- частичную или полную срезку засоленных грунтов и устройство подушек из песка и суглинка;
- предпостроечное рассоление и последующее уплотнение грунтового основания;
- химическое закрепление (особенно для загипсованных песков и супесей).

При устройстве дорожных насыпей для нейтрализации вредного действия солей (например, Na_2SO_4 и MgSO_4 , препятствующих уплотнению) вводят различные добавки (гранулометрические или химические).

В перечень требований, предъявляемых к строительству зданий и сооружений на засоленных грунтах, входит применение водозащитных и конструктивных мероприятий. Особое внимание следует уделять антикоррозионным мерам для защиты подземных строительных конструкций от агрессивного действия подземных вод и коррозионной активности засоленных грунтов.

§ 6. Элювиальные грунты

К элювиальным грунтам относят продукты выветривания скальных и полускальных пород, которые образовались за счет расклевывания, разуплотнения, разламывания, измельчения исходных пород и остались на месте своего образования. Формирование коры выветривания было рассмотрено нами в главе 3 §5.

Элювиальные грунты имеют мощность от нескольких до десятков метров. Залегают они обычно на низких и плоских водоразделах, на пологих склонах и в долинах рек и представлены глинистыми и рыхлыми несвязными породами (песками, дресвой, щебнем), а также переходными разностями — песчано-щебенстыми, дресвяно-щебенстыми и др.

Элювиальные грунты отличаются сложным строением, значительным разнообразием и пространственной изменчивостью. Их нижняя граница неровная и, в связи с различной активностью агентов выветривания, может образовывать своеобразные карманы в нижележащей толще пород.

На территории России элювиальные грунты различного возраста залегают в Карелии, на Урале, в ряде районов Сибири и в других местах.

Важнейшими специфическими особенностями элювиальных грунтов в соответствии с СНиП 2.02.01-83* являются:

- значительная неоднородность по глубине и в плане из-за наличия грунтов с резким различием прочностных и деформационных характеристик;
- склонность к снижению прочности во время их преобразования в открытых котлованах;
- возможность перехода в пльвунное состояние в период устройства котлованов и фундаментов;
- возможность развития просадочных свойств у элювиальных пылеватых песков с коэффициентом пористости $e > 0,6$ и степенью влажности $S_r < 0,7$.

Из других особенностей элювиальных грунтов можно отметить следующие: склонность к набуханию и морозному пучению, возникновение кислой среды, вредно действующей на бетонные и металлические части сооружений, возможность развития физической и химической суффозии и др.

Для количественной оценки степени выветрелости и свойств элювиальных грунтов определяют сопротивление одноосному сжатию R_c , МПа (ГОСТ 12248-96), коэффициент выветрелости $K_{вр}$, коэффициент размягчаемости $K_{соп}$, коэффициент скорости выветривания $K_{св}$, гранулометрический состав и показатели специфических свойств — просадочности, набухания, растворимости и др.

Коэффициент выветрелости $K_{вр}$ равен отношению плотности выветрелого грунта к плотности той же невыветрелой породы.

Коэффициент размягчаемости в воде $K_{соп}$ определяется как отношение пределов прочности грунта на одноосное сжатие образцов в водонасыщенном и в воздушно-сухом состоянии. Различают неразмываемый грунт ($K_{соп} \geq 0,75$) и размываемый ($K_{соп} < 0,75$).

Коэффициент скорости выветривания $K_{св}$ (по Г. С. Золотареву) есть отношение объема выветрелых пород к площади выветривания.

Более надежные показатели различных свойств элювиальных грунтов определяют непосредственно в полевых условиях с помощью динамического и статического зондирования, прессиометрии и других полевых методов.

Инженерно-геологическая оценка элювиальных грунтов основывается на выделении в них зон с различным составом, состоянием и

свойствами, получении обобщенных характеристик физико-механических свойств грунтов для каждого инженерно-геологического элемента (ИГЭ), прогнозе скорости и интенсивности процессов выветривания при вскрытии их строительными котлованами, выемками и др.

Строительство на элювиальных грунтах. Для предотвращения выветривания или улучшения свойств уже выветрелых пород предусматривают:

- устройство уплотненных грунтовых распределительных подушек из песка, гравия, щебня и других пород, в частности при неровной поверхности скальных грунтов;
- полную или частичную замену «карманов» и «гнезд» выветривания песчаным или крупнообломочным грунтом с последующим уплотнением;
- закрепление, т. е. искусственное улучшение свойств выветрелого грунта путем его цементации, глинизации, битуминизации и другими способами;
- применение фундаментов глубокого заложения, т. е. прорезка всей толщи элювиальных грунтов с опорой на монолитные невыветрелые породы;
- планировка строительной территории и отвод атмосферных вод, а также покрытие грунтов водонепроницаемыми материалами (гудроном, цементом и др.).

Не следует допускать перерывов в устройстве оснований и возведении фундаментов, так как при многократном увлажнении—высыхании, промерзании—оттаивании элювиальный грунт превращается в дресву и щебень, которые легко размокают в воде. Чтобы уберечь дно строительного котлована от разрушения процессами выветривания, следует не доводить его до проектной отметки, с тем чтобы оставшийся слой (0,3–0,4 м) снять перед началом возведения фундамента.

§ 7. Техногенные грунты

Согласно ГОСТ 25100-95, техногенные грунты — это естественные (природные) грунты, измененные и перемещенные в результате производственной и хозяйственной деятельности человека, и антропогенные образования. Под антропогенными образованиями

понимают твердые отходы производственной и хозяйственно-бытовой деятельности человека, в результате которой произошло коренное изменение состава, структуры и текстуры природного минерального или органического сырья.

Техногенные грунты используют в качестве оснований зданий и сооружений или среды для размещения в них городских коммуникационных сетей и других сооружений, но главным образом как материал для отсыпки насыпей, дамб, земляных плотин и т. д. Объем техногенных грунтов в мире весьма значителен и продолжает непрерывно увеличиваться, особенно на территориях крупных мегаполисов и в районах горнодобывающей промышленности.

Только в результате горнотехнической и строительной деятельности мировой объем техногенных грунтов достиг к началу XXI в. более 1500 млрд м³. Суммарное протяжение дорожных насыпей в бывшем СССР составляло сотни тысяч километров (рис. 23.17). Ежегодно в России только одних золошлаковых отходов накапливается десятки миллионов тонн, а объем складирования в отвалы бытовых отходов превысил 0,5 млрд м³. Общий объем промышленных отходов в нашей стране составляет более миллиарда тонн в год, из них более 50 млн т особо токсичных.

Понятие «техногенные грунты» объединяет весьма разнородные по происхождению, составу, строению и свойствам грунты. Среди важнейших **специфических особенностей** техногенных грунтов, отрицательно влияющих на их инженерно-геологическую оценку, отметим следующие:

- значительную неоднородность по составу и неравномерную сжимаемость;
- возможность самоуплотнения от собственного веса, особенно при вибрационных воздействиях;
- повышенное содержание органического вещества в свалках и бытовых отходах и в связи с этим возможность образования токсичных газов (метана и др.);
- склонность к самовозгоранию пустой породы, образующейся при разработке угля;
- распад, разложение и другие физико-химические преобразования (для шлаков, зол и шламов).



Рис. 23.17. Образование техногенных грунтов на территории бывшего СССР в 1970 г. (М.И. Хазанов, 1975): 1 — более 1000 м³/км²; 2 — 500 — 1000; 3 — 500; 4 — 100 — 250; 5 — 250; 6 — 10 — 50; 7 — 0 — 10; 8 — границы районов предполагаемого массового образования техногенных грунтов в будущем

Классификация техногенных грунтов. В настоящее время к техногенным грунтам относят: 1) природные грунты, измененные в условиях естественного залегания; 2) природные грунты, перемещенные с мест естественного залегания в процессе строительной или иной производственной деятельности; 3) антропогенные образования.

Природные грунты, измененные в условиях естественного залегания. Этот тип техногенных грунтов создают целенаправленно в соответствии с запросами строительства с помощью различных физических и физико-химических воздействий. К физическим воздействиям относятся уплотнение катками, тяжелыми трамбовками, вибрацией и т. д. Помимо этих воздействий, уплотняющих дисперсные грунты с поверхности, применяют также глубинные физические воздействия (камуфлетные взрывы, электроосмос, замораживание, грунтовые сваи и др.). С помощью этих работ повышают прочность природных грунтов, снижают их сжимаемость и водопроницаемость.

К физико-химическим воздействиям относятся весьма широко используемые в строительстве цементация, силикатизация, битумизация, глинизация, обжиг и другие методы. Все они способствуют закреплению грунтов как дисперсных, так и скальных и улучшению их свойств. Природные грунты, уплотненные или закрепленные указанными выше методами технической мелиорации, называют еще улучшенными.

Природные грунты, перемещенные с мест естественного залегания. К этому типу относят грунты, перемещенные с помощью транспортных средств, взрыва (насыпные грунты) или с помощью средств гидромеханизации (намывные грунты).

Насыпные грунты по технологии своего образования подразделяются на планомерно и неплавномерно отсыпанные.

К первым относят насыпи, возведенные по специальному проекту из однородных грунтов с уплотнением до заданной по проекту плотности. Ко вторым относят отвалы и свалки различного вида грунтов, полученные при разработке карьеров и подземных выработок, срезке площадей при планировке, в процессе вскрышных работ и т. д. (рис. 23.18).

По степени уплотнения от собственного веса различают насыпные грунты слежавшиеся (процесс самоуплотнения закончился) и несслежавшиеся (процесс самоуплотнения продолжается).

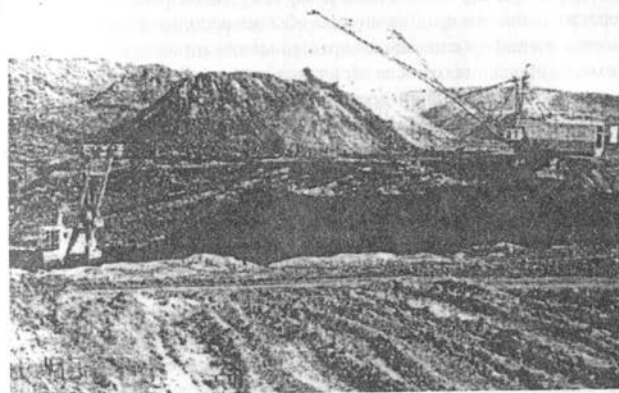


Рис. 23.18. Насыпные неплавномерно отсыпанные грунты (отвалы на углеразрезе)

Насыпные грунты (особенно несслежавшиеся) характеризуются повышенной сжимаемостью. Модуль деформации насыпных грунтов обычно составляет от 2 до 10–15 МПа в зависимости от их вида, времени самоуплотнения и других факторов. Согласно нормативным указаниям (СП 11-105-97, ч. III), ориентировочное время самоуплотнения насыпных грунтов следует оценивать в зависимости от их вида и способа укладки в насыпь (табл. 23.1).

Таблица 23.1

Ориентировочное время самоуплотнения насыпных грунтов (годы)

Виды насыпных техногенных грунтов	Планомерно возведенные насыпи	Отвалы	Свалки
Крупнообломочные	0,2–1	1–3	2–5
Песчаные	0,5–2	2–5	5–10
Глинистые	2–5	10–15	10–30
Шлаки, формовочные земли	—	2–5	—

Намывные грунты создают с помощью средств гидромеханизации при строительстве в поймах крупных рек, на побережьях морских заливов и др. Для намыва обычно используются пески. Прочностные и деформационные характеристики устанавливаются с учетом времени, прошедшего после окончания намыва. Следует помнить, что намывные грунты обычно проходят стадии уплотнения, упрочнения и лишь затем переходят в стабилизированное состояние. На намывных грунтах возводят крупные стадионы и другие сооружения, ведут жилищное строительство (например, в г. Санкт-Петербурге, вблизи Финского залива).

Антропогенные образования подразделяются на промышленные и бытовые отходы.

Промышленные отходы образуются в результате термической и химической обработки природных образований (зола, золашлаки, шлаки, шламы и др.). Содержание органических веществ в них обычно не превышает 5%. Промышленные отходы занимают огромные площади и, «попадая на поверхность земли, становятся как бы ее составной частью» (Сергеев, 1983).

Бытовые отходы представлены обычно в виде свалок, которые формируются в результате неорганизованной отсыпки отходов без уплотнения и изоляции. Как правило, свалки характеризуются повышенным содержанием органических веществ. Поэтому при инженерно-геологической оценке бытовых отходов, помимо определения их генезиса и мощности, степени завершенности процессов самоуплотнения, показателей состава и свойств, следует определять содержание и состояние органических веществ. Это необходимо в связи с возможным накоплением в грунтах метана, образующегося вследствие анаэробного разложения органических веществ.

Помимо свалок среди антропогенных бытовых отходов выделяют культурные слои, т. е. толщи горных пород с остатками культурно-хозяйственной деятельности человека. Распространены они на территориях городов и крупных поселков и имеют мощность от 0,1–0,5 до 20–30 и более метров. Отличительная особенность культурного слоя — наличие в его составе битого кирпича, керамической плитки, органических включений, золы и другого хозяйственного и строительного мусора, накопленного в течение многих лет, десятилетий и столетий.

Культурный слой весьма неоднороден по составу и свойствам, и если древние его накопления уже уплотнились и достаточно прочны, то современный культурный слой при использовании его в качестве основания требует уплотнения и закрепления его методами технической мелиорации.

Строительство на техногенных грунтах. Для устройства оснований различных сооружений, дорожных насыпей, земляных плотин, дамб и др. техногенные грунты, как уже отмечалось выше, находят самое широкое применение. Однако все работы по их использованию в строительстве, в частности при отсыпке или намывке, должны осуществляться при надлежащем геотехническом контроле.

Техногенный грунт должен оцениваться по основным показателям физико-механических свойств, степени однородности, величине самоуплотнения, содержанию органических веществ и т. д. Известны многочисленные примеры недопустимых деформаций зданий и сооружений, возведенных на техногенных грунтах, потери устойчивости дорожных насыпей и т. д. С геозкологических позиций необходимо учитывать способность техногенных насыпных грунтов генерировать метан и диоксид углерода, которые образуются при биодеструкции (разложении) «бытовой» органики.

При недостаточной несущей способности техногенных грунтов их следует уплотнять с помощью катков, тяжелых трамбовок, вибрационных машин, а также грунтовыми сваями, энергией взрыва, гидровиброуплотнителями (глубинное уплотнение). В ряде случаев (при соответствующем инженерно-геологическом обосновании) надежнее и экономически целесообразнее прорезка всей толщи техногенных грунтов глубокими фундаментами с опорой на малосжимаемые подстилающие грунты.

При возможных больших и неравномерных осадках следует применять и конструктивные мероприятия, для повышения прочности и жесткости зданий и приспособления их к неравномерным деформациям.

Глава 24. ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ГРУНТОВ

Одним из разделов в грунтоведении является техническая мелиорация грунтов. Этот раздел занимается теоретической и экспериментальной разработкой методов искусственного улучшения свойств грунтов в соответствии с запросами различных видов строительства. Мелиорировать грунты — значит улучшать их неблагоприятные свойства. Улучшение свойств грунтов достигается механическим уплотнением, введением цементирующих и вяжущих веществ, осушением, замораживанием, обжигом и другими способами.

Как самостоятельная область грунтоведения техническая мелиорация сформировалась в нашей стране в 20–30-е гг. прошлого столетия, в связи с интенсивным развитием дорожного и гидротехнического строительства.

В настоящее время методы искусственного улучшения свойств грунтов широко применяют для усиления оснований различных сооружений, уменьшения водопритоков к горным выработкам, увеличения устойчивости оползневых склонов, откосов искусственных выемок, создания противодиффузионных завес и т. д.

Работы по техническому мелиорированию (улучшению) свойств грунтов осуществляют по специальным проектам, разработка которых производится на основе детальных инженерно-геологических исследований.

В задачу инженерно-геологических исследований входит получение подробных сведений о геологическом строении и гидрогеологических условиях участка работ, составе, состоянии и свойствах грунтов (влажность, плотность, пластичность, гранулометрический состав, степень водопроницаемости, предел прочности на одноосное сжатие и степень выветрелости и трещиноватости — для скальных грунтов).

В зависимости от вида грунта и способов мелиорации дополнительно определяют и другие характеристики. Например, для лессовых просадочных грунтов — относительную просадочность, начальное просадочное давление, прочностные и деформационные характеристики.

Согласно современным представлениям, техническая мелиорация грунтов подразделяется на физико-механическую и физико-химическую (С. Д. Воронкевич, 2005).

Физико-механическая мелиорация грунтов

К этому виду мелиорации относят методы механического уплотнения и предварительного замачивания грунтов, методы дренирования и консолидации, а также армирование грунтов.

Механическое уплотнение. В строительной практике дисперсные грунты довольно часто уплотняют механическим воздействием, т. е. давлением, ударом и вибрацией. Различают поверхностное и глубинное уплотнение.

Поверхностное механическое уплотнение дисперсных грунтов (связных и несвязных) производится с помощью многократной проходки катков, сбрасывания тяжелых трамбовок, виброуплотнения, сейсмоуплотнения и других способов. При этих внешних воздействиях изменяются структурно-текстурные особенности грунтов, уменьшается их пористость, влажность, улучшаются прочностные и деформационные характеристики. В результате на строительной площадке может быть создан слой достаточно уплотненного и упрочненного грунта толщиной от 0,3 до 3,0 м, а при сбрасывании тяжелых трамбовок массой до 7 т и более с высоты 4–8 — до 5–6 м (рис. 24.1).

В дорожном и других видах строительства уплотнение земляного полотна и других земляных сооружений производят до достижения оптимальной плотности грунтов, т. е. до такой плотности, при которой обеспечивается их устойчивое состояние. Для достижения наилучшего уплотнения грунты должны находиться в состоянии оптимальной влажности. Для глинистых грунтов оптимальная влажность примерно равна влажности на границе раскатывания того же грунта.

К методам поверхностного уплотнения относят также вытрамбование котлованов (траншей), устройство песчаных подушек (отсыпку слоя песков толщиной до 3,0 м), предварительное замачивание лессовых грунтов в строительных котлованах, предпостроечное оттаивание мерзлых грунтов и др.

Наиболее часто поверхностное уплотнение используется при подготовке оснований для промышленных и гражданских зданий и сооружений, дорожных и аэродромных покрытий, при возведении насыпей, плотин и дамб.

Глубинное механическое уплотнение применяют при необходимости уплотнения грунтов на большую глубину, чем при повер-



Рис. 24.1. Уплотнение лессовых просадочных грунтов в котловане тяжелой трамбовкой

хностном уплотнении. Этот метод уплотнения применяют как для песчаных несвязных грунтов, так и для связных глинистых и органоминеральных грунтов.

При глубинном уплотнении песчаных грунтов динамическим воздействием уплотняющий снаряд (вибратор) последовательно погружают на глубину до 15 м и более. С помощью специального генератора вибратор приводится в действие. Такой метод называют глубинным виброуплотнением.

Для глубинного уплотнения пылеватых песков и просадочных лессовых грунтов используют энергию взрыва (сейсмическое уплотнение) в сочетании с замачиванием. Для этого в предварительно пробуренные скважины погружают заряды на расчетную глубину с последующим взрывом. Под действием взрывной волны дисперсные грунты перестраивают свою структуру и уплотняются.

Илы, водонасыщенные ленточные глины, заторфованные и другие сильносжимаемые грунты уплотняют с помощью гравитационного дренажирования. С этой целью из грунтов извлекается свободная вода с помощью длительных ее откачек насосами или вакуумными установками. Используется и самотечный дренаж, когда вода под действием силы тяжести свободно стекает в систему канав, траншей, колодцев и др.

Широко используются также методы геостатического уплотнения (консолидации) водонасыщенных сильносжимаемых грунтов различными пригрузками и электроосмотическое осушение для увеличения несущей способности оснований фундаментов, для борьбы с оползнями и стабилизации деформаций земляных сооружений.

Армирование грунтов — это геотехнология, основой которой является совмещение грунтов с армирующими элементами (сетки, георешетки, пленки, натуральные и синтетические волокна и ткани, металлические полосы и др.). Армирование позволяет повысить прочность и несущую способность грунтовых масс, а также воспринимать растягивающие напряжения, на которые сами насыщенные грунты не работают.

В настоящее время армирование грунтов широко используется в промышленно-гражданском, транспортном, гидротехническом и других видах строительства. Армирование грунтов и грунтовых масс эффективно при отсыпке насыпей, плотин, дамб, возведении подпорных стен, противозрозионной защите мостовых устоев, укреплении откосов, противооползневой защите и др. (рис. 24.2).

Одним из распространенных видов армирования служит геосинтетический материал, известный под названием **георешетка**. Это сотовая конструкция, состоящая из полиэтиленовых лент толщиной 1,5 мм, скрепленных сварными швами. С помощью анкеров георешетка крепится на поверхности откосов и склонов. Представляет собой устойчивый горизонтально и вертикально каркас, который предназначен для заполнения грунтом, щебнем, бетоном и др. Может быть использован в качестве сплошной подушки фундамента для железнодорожного пути на сильно сжимаемых органоминеральных и органических грунтах.

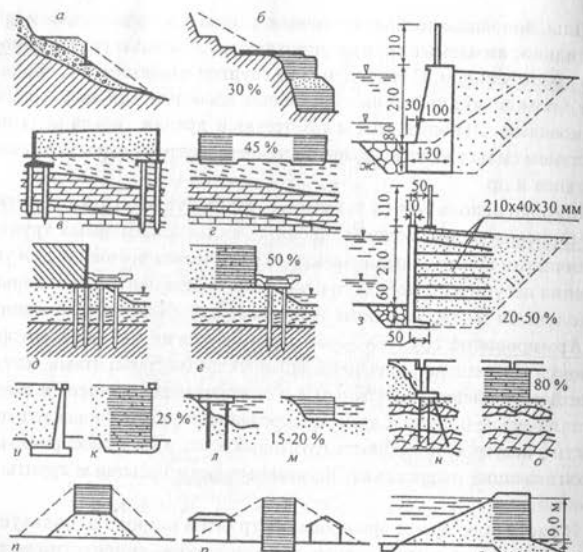


Рис. 24.2. Армирование грунтовых насыпей (по С. Д. Воронкевичу, 2005): а, б — автомобильная дорога на оползневом склоне; в, г — съезд с моста; д, е, л, м — стенки причалов; ж, з — подпорная стенка водохранилища; и, к — подпорная стенка автомобильной дороги; н, о — мостовой устой; п — реконструкция насыпи; р — реконструкция автомагистрали в населенном пункте; с — земляная плотина

Широкое развитие в строительной практике в последнее время получило армирование оснований сваями-инъекторами (забивные или буронабивные сваи, опирающиеся на основание из закрепленного грунта (рис. 24.3) по ТСН-50-306-2005 Ростовской области) и армирование оснований буронабивными элементами, материалом которых служат цемент-грунт, жесткая или гибкая арматура.

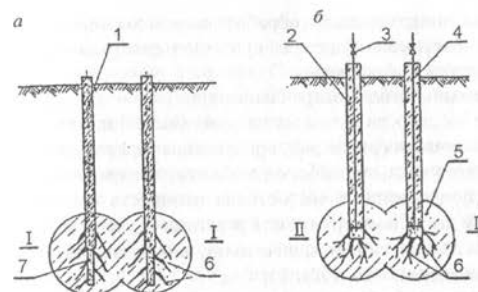


Рис. 24.3. Армирование оснований сваями-инъекторами: 1 — забивная свая; 2 — буронабивная свая; 3 — вентиль; 4 — нагнетательная труба; 5 — закрепленный грунт; б — пространственная система из цементного камня; 7 — лидерная скважина

Физико-химическая мелиорация грунтов

В отличие от физико-механической мелиорации грунтов физико-химическая мелиорация основана на воздействии на грунты не только физических средств, но и химически активных веществ. Различают поверхностные и глубинные методы физико-химической мелиорации грунтов.

Поверхностные методы укрепления и улучшения состояния и свойств грунтов осуществляются с использованием минеральных вяжущих материалов (цемента, извести, активных тонкодисперсных зол уноса, молотого гранулированного шлака, шлама, лингина и др.) и органических вяжущих материалов (битумов, синтетических и природных смол, жидкого каменноугольного дегтя и др.).

Технология обработки грунтов на поверхности для улучшения их состояния и свойств включает ряд последовательных операций: 1) размельчение грунтовых агрегатов до порошкообразной массы; 2) распределение вяжущего материала с точным соблюдением необходимой добавки цемента, извести или других веществ; 3) равномерное увлажнение грунта с помощью поливочных машин до необходимой (оптимальной) влажности (установленной в лаборатории); 4) уплотнение и укатка подготовленной грунтовой смеси до наибольшей плотности.

Методы поверхностной обработки грунтов представляют наибольший практический интерес при строительстве автомобильных, железных дорог и аэродромов.

Глубинные методы закрепления грунтов — это искусственное улучшение их свойств путем нагнетания (инъекции) вяжущих материалов и химических растворов, пропускания через грунт постоянного электрического тока, термического обжига, замораживания и др.

При использовании этих методов прочность контактов между отдельными частицами грунта или агрегатами увеличивается за счет склеивания химическими веществами, спекания, обезвоживания, образования ледовых контактов и т. д.

К наиболее распространенным инъекционным способам закрепления грунтов относят силикатизацию, цементацию, глинизацию и смолизацию.

Силикатизация осуществляется путем нагнетания в закрепляемый грунт неорганических вяжущих растворов — силиката натрия (жидкое стекло) и коагулятора (хлористого кальция), при взаимодействии которых образуется гель кремниевой кислоты — цементирующее вещество. Подобная двухрастворная силикатизация применяется в песчаных грунтах с коэффициентом фильтрации K_f от 5,0 до 80 м/сут. Одноразовная силикатизация водным раствором силиката натрия применяется в лессовых просадочных грунтах при $K_f \geq 0,2$ м/сут и коэффициенте водонасыщения $S_r \leq 0,7$. Газовая силикатизация выполняется нагнетанием раствора силиката натрия и углекислого газа по двум схемам: 1) раствор—газ (для песков с K_f от 0,2 до 20 м/сут) и 2) газ—раствор—газ (для лессовых просадочных грунтов с $K_f \geq 0,2$ м/сут и коэффициентом водонасыщения $S_r = 0,7-1,0$).

Цементация — нагнетание в закрепляемый грунт цементного раствора (чистого или со специальными добавками) через специальные скважины-инъекторы. Метод применяется в трещиноватых скальных грунтах для заполнения карстовых пустот, а также в других случаях в виде различных модификаций (цементно-грунтовые растворы и др.). В последнее время для закрепления лессовых просадочных грунтов и слабых глинистых грунтов широкое развитие в мире получил **метод струйной технологии**. В пробуренную скважину с помощью инъектора под большим давлением (до 100 МПа) подают закрепляющий цементный раствор либо другой закрепляющий материал и путем последовательного подъема инъектора формируют массив закрепляемого

грунта. Грунты основания армируются и уплотняются водоцементным и цементно-глинистым раствором под всем фундаментом здания, на всю глубину закрепляемой толщи. Создаваемый под фундаментом здания грунтоцементный массив приобретает необходимую прочность и просадочными свойствами не обладает.

Глинизация дает наилучшие результаты при тампонировании трещиноватых и закарстованных пород. Метод состоит в нагнетании через специальные скважины-инъекторы глинистых суспензий (растворов). В сравнении с цементацией данный метод более экономичен, даже при применении высококонцентрированных глинистых растворов с плотностью 1,4–1,5 г/см³. Материалом для глинизации служат суглинки и глины. Недостатком глинизированной завесы считается ее недостаточная стойкость к суффозионному размыву.

Смолизация грунта заключается в нагнетании в скважины-инъекторы органических вяжущих — карбамидных и других синтетических смол, которые при затвердевании образуют прочный каркас. С помощью смолизации возможно закрепление мелких и пылеватых песков с любой степенью влажности. К другим методам закрепления грунтов органическими вяжущими помимо смолизации относится **битуминизация**, основанная на введении в грунт расплавленного битума.

В строительной практике для упрочнения грунтов используют также методы воздействия на них различных физических полей: высоких температур (термический обжиг), постоянного электрического тока (электрохимическое осушение), отрицательных температур (замораживание) и др. Сущность последнего широкого распространенного метода — замораживания (криоупрочнение) заключается в создании временного ледоугрунтового ограждения из замороженного грунта. Достигается это опусканием в пробуренные скважины труб, по которым циркулирует хладоноситель (фреон, растворы хлористого кальция и др.).

С экологических позиций важно подчеркнуть, что, согласно СНиП 2.02.01–85*, способ закрепления и рецептура растворов должны обеспечивать не только расчетные физико-механические характеристики закрепленного грунта, но и удовлетворять требованиям по охране окружающей среды. Наибольшую опасность, связанную с токсичностью загрязняющих веществ, представляют защелачивание (инъекция в грунт щелочи), некоторые модификации способов смолизации и силикатизации и, в меньшей мере, термический обжиг (загрязнение токсичными газами).

Раздел IV

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДИНАМИКА

Инженерная геодинамика — раздел инженерной геологии, который изучает геологические процессы в верхней части земной коры в связи с инженерно-хозяйственной и, прежде всего, инженерно-строительной деятельностью человека.

О важности их изучения можно судить по высказыванию академика А. В. Сидоренко (1967) о том, что «проблема изучения геологических процессов, особенно учитывая вмешательство в них человека, имеет не меньшее значение, чем проблемы освоения космоса, околоземного пространства или глубинных недр Земли».

Геологические процессы всегда предшествуют геологическому явлению, т. е. внешнему проявлению процесса. Процесс первичен, явление — вторично. Так, например, образованию внешних форм карста (воронки, провалы и других проявлений) предшествует геологический процесс — растворение горных пород. Многие ученые и исследователи используют термин «геологические процессы и явления», другие (в том числе и в нормативной литературе) — просто «геологический процесс».

По В. Д. Ломтадзе (1977), геологические процессы проявляются в образовании и разрушении горных пород, в изменении их физического состояния и условий залегания, в формировании и изменении рельефа земной поверхности, строения земной коры и внутренней структуры Земли в целом. Инженерная геодинамика изучает все современные геологические процессы, которые в той или иной мере влияют на устойчивость строительных объектов.

Геологические процессы принято делить на **природные**, развивающиеся стихийно в природных, ненарушенных человеком условиях

(в геологии их изучают в разделе «Динамическая геология»), и **инженерно-геологические**, вызванные инженерно-строительной деятельностью человека. В ряде случаев границу между ними провести трудно, так как нередко природные геологические процессы подвергаются в той или иной степени изменению в результате инженерной деятельности человека.

В настоящее время в инженерно-геологической науке, а также в специальных строительных нормах и правилах широко используется термин «опасные геологические и инженерно-геологические процессы», под которым понимают «сейсмическое сотрясение, извержения вулканов, оползни, обвалы, осыпи, карст, сели, переработку берегов, подтопление и другие процессы, возникающие под влиянием природных и техногенных факторов и оказывающие отрицательное воздействие на строительные объекты и жизнедеятельность людей» (СП 11-105-97, ч. II).

Важнейшими задачами инженерной геодинамики в связи с вышесказанным являются: 1) изучение причин возникновения и динамики развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов; 2) прогноз влияния этих процессов на устойчивость проектируемых зданий и сооружений и условия их эксплуатации; 3) инженерно-геологическое обоснование защитных мероприятий.

Глава 25. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ВЕТРА

§ 1. Эоловые процессы

Геологические процессы, порожденные энергией ветра, получили название **эоловых** (Эол — бог ветра в древнегреческой мифологии), а отложения, образовавшиеся с помощью ветра, — **эоловых отложений**.

Геологическая работа ветра наблюдается всюду на поверхности земного шара, хотя скорость, сила и направление ветра на различных ее

участках неодинаковы. Обычно в тех районах, где больше скорость ветра, там при прочих равных условиях сильнее производимая им работа.

С наибольшей интенсивностью эоловые процессы протекают в песчаных пустынных и полупустынных областях и в меньшей степени — в степных. На территории СНГ это пустыни Каракумы и Кызылкумы (Средняя Азия), побережья Каспийского, Балтийского, Аральского и других морей, долины Амударьи, Сырдарьи, Оби и других рек.

Эоловые процессы представляют серьезную угрозу для населенных пунктов и инженерных сооружений. Песчаные заносы засыпают дома и целые поселения, разрушают дамбы и насыпи, осложняют строительные работы и удлинляют сроки возведения строительных объектов. С другой стороны, не только заносы, но и выдувание и развевание песков может также приводить к отрицательным последствиям: обнажению стальных трубопроводов, заложенных на небольшой глубине от поверхности земли, обнажению фундаментов береговых опор мостов и иных сооружений и т. д.

Интенсивное развитие эоловых процессов в тех или иных районах наблюдается при сочетании следующих условий:

- поверхностная толща отложений сложена легковыдуваемыми песками, супесями и другими рыхлыми породами, находящимися в сухом состоянии;
- на территории длительно действуют ветровые потоки с высокими скоростями (более 5 м/с);
- растительный покров отсутствует (или он сильно разрежен).

Эоловые процессы в значительной мере могут быть активизированы в результате непродуманной деятельности человека, вызывающей нарушение или полное уничтожение растительного покрова.

Активная эоловая (ветровая) работа в пустынных и полупустынных районах — это сложный и многообразный геологический процесс, составными частями которого являются дефляция, коррозия, транспортировка и аккумуляция (накопление) песчано-пылеватого материала. Для обоснования защитных мероприятий закономерности возникновения и развития эоловых процессов детально изучают в процессе инженерно-геологических изысканий.

Дефляция (от лат. «дефляцио» — выдувание) — выдувание и развевание ветром тонких песчаных и пылеватых частиц. Интенсивность ветровой дефляции зависит от скорости ветра, устойчивости почвы и

верхней части толщи горных пород, наличия растительного покрова, особенностей рельефа и от других факторов. Наиболее резко дефляция проявляется в пустынных районах. Огромное влияние на ее развитие оказывают техногенные факторы.

С дефляцией связано образование отрицательных форм рельефа — котловин выдувания, борозд, траншей, «ярдангов» — желобов глубиной от 1–2 до 6 м и др. Дефляция оказывает весьма негативное влияние на почвенный покров степных районов. Выдувание ценнейших плодородных почв может достигать 10–15 см, а местами — до 25 см.

Кроме дефляции разрушительная деятельность ветра проявляется в корразии, т. е. в обтачивании горных пород твердыми песчинками, переносимыми ветром. В результате корразии в горных породах образуются ниши, ячейки, борозды, а в горных местностях — скалы-останцы, грибообразные и шаровидные скалы и др. Поскольку максимальная корразия наблюдается в нижней части скал, становится понятным образование своеобразных форм эолового рельефа (рис. 25.1) в этих районах.



Рис. 25.1. Грибообразная форма эолового рельефа (по А.Ф. Якушовой)

Золовая транспортировка заключается в переносе выдуваемых частиц горных пород и почв на сотни и даже тысячи километров. По данным ученых, общее количество переносимого в мире золового материала превышает 1,5 млрд т. Крупнейшим источником пыли на постсоветском пространстве является Арал. На космических снимках видны шлейфы пыли, которые тянутся в стороны от Арала на многие сотни километров. Общая масса переносимой ветром пыли в районе Арала достигает 90 млн т в год. Другой крупный пылевой очаг — Черные земли Калмыкии.

Золовая аккумуляция и формирование золовых отложений наблюдаются при уменьшении скорости ветра. Уплотнение и цементация золовых отложений (песчаных, пылеватых и глинистых) происходит более медленно, чем у других типов осадков, поэтому обычно они находятся в рыхлом состоянии. При строительном освоении важное значение имеет степень их закрепления корневой системой растений. По этому признаку золовые отложения делят на подвижные формы (барханы, барханные цепи, дюны) и закрепленные (грядовые и бугристые пески).

Среди подвижных форм наибольшее распространение имеют **барханы** — песчаные холмы серповидной формы высотой до 30–50 м и более, располагающиеся перпендикулярно к господствующему направлению ветра. На территории среднеазиатских пустынь и полупустынь барханы и барханные цепи (слившиеся групповые барханы) занимают площадь более 1 млн км². Скорость передвижения барханов различная: от десятков сантиметров до сотен метров в год.

Песчаные холмы и гряды высотой до 30 м и более (иногда до 100 м — Атлантическое побережье Франции), образованные в результате деятельности ветра во внепустынных областях на песчаных побережьях морей, озер и крупных рек, называют **дюнами**. Если ветер часто меняет направление, образуется пирамидальная дюна, имеющая треугольную форму (рис. 25.2).

Скорость движения дюн колеблется от 0,2 до 25 м/год. Дюны менее устойчивы к динамическим воздействиям, чем барханы, что неоднократно приводило к деформациям и авариям различных сооружений.

Закрепленные формы золового рельефа (грядовые, бугристые и другие виды песков) потеряли способность к перемещению. Их движение

остановлено пустынной растительностью с сильно развитой корневой системой. Среди песчаных пустынь встречаются также **такыры** — плоские понижения, сложенные высохшими илистыми осадками и разбитые трещинами усадки на многоугольники (рис. 25.2).

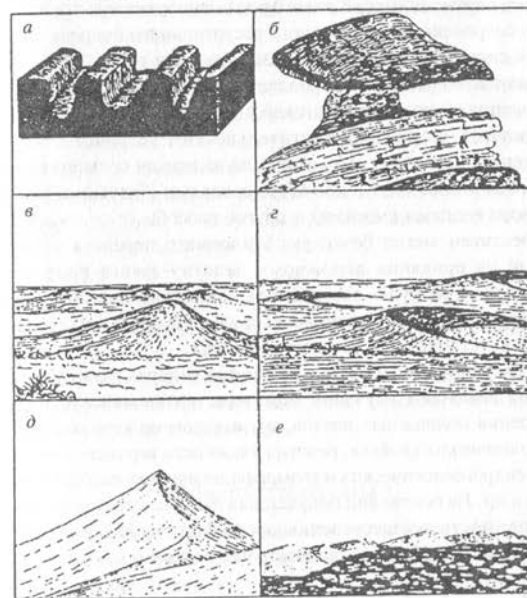


Рис. 25.2. Формы золового рельефа (по Д.Г. Панову):

а — ярданги; б — грибовидный останец, созданный выветриванием и ветровой эрозией (дефляцией, корразией); в — дюны; г — барханы; д — пирамидальная дюна; е — поверхность такыра, разбитая трещинами усыхания

Мероприятия по защите от золовых процессов. Выше уже отмечалось, что золовые процессы, и в первую очередь подвижные пески, могут нанести серьезный ущерб территории, а также различным зданиям и сооружениям.

Защитные мероприятия могут иметь профилактический и активный характер. К **профилактическим мерам** относят запрещение устройства любых строительных выемок, карьеров и других открытых выработок в зоне развития подвижных песков без должной защиты от развевания и переноса песчаных масс. К такого рода мероприятиям относят также меры по сохранению естественного растительного покрова с крепкой корневой системой, запрещение выпаса скота и т. д.

Активные меры борьбы с подвижными песками включают: фитомелиорацию (закрепление песков с помощью посадки древесной, кустарниковой и травяной растительности); устройство щитовых ограждений вдоль дорог и каналов для задержки песчаных заносов; закрепление песков связующими материалами (битумом, цементом, парафиномазутными смесями) и другие способы.

Эффективен метод безаккумуляционного переноса песков, основанный на придании дорожному полотну такого профиля, при котором дорога не будет задерживать движущиеся пески. Песчаные заносы дорог и других линейных сооружений предотвращают также с помощью устройства защитных лесополос.

Инженерно-геологические изыскания в районах развития золотых процессов включают изучение характера, интенсивности и режима перемещения подвижных песков, их литологического состава и физико-механических свойств, режима влажности верхнего слоя песков, геолого-гидрогеологических и геоморфологических особенностей территории и др. На основании полученных данных принимают решение о необходимости осуществления профилактических или активных мероприятий для борьбы с подвижными песками.

Глава 26. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОДАМИ

Поверхностные воды (моря, океаны, водохранилища, реки, озера, временные водотоки и др.) выполняют на земной поверхности огромную геологическую работу — разрушительную и одновременно созидательную. В инженерно-геологической и строительной практике наибольшее внимание уделяется изучению таких процессов, как оврагообразование, подмыв и разрушение берегов рек, абразия морских

берегов, переработка берегов водохранилищ, селевые потоки и др. Эти геологические процессы, вызванные поверхностными водами, наносят существенный урон геологической среде, деформируют и разрушают мосты, плотины, набережные и другие сооружения. Они во многом способствуют развитию таких опасных геологических процессов, как оползни, обвалы, осыпи и др.

Важное инженерно-геологическое значение имеют и наносы (аллювиальные отложения), которые формируются в процессе созидательной деятельности поверхностных вод. Изучению подвергают условия залегания, состав и свойства этих отложений, которые могут быть основанием, средой или материалом для отсыпки земляных сооружений. При выполнении этих работ обязательно учитывают гидрологические факторы — скорость и расход водных потоков, режим их уровней, энергию и другие элементы.

§ 1. Плоскостной смыв и оврагообразование

Геологическая деятельность поверхностных текучих вод может быть подразделена на три основных вида: плоскостной смыв, оврагообразование и речную эрозию.

Плоскостной смыв

Под **плоскостным смывом** (или плоскостной эрозией) понимают процесс смещения мелких частиц горных пород вниз по склону дождевыми и тальными снеговыми водами, без образования постоянных русел или рытвин. Формирующиеся у основания склона отложения получили название **делювия** (от лат. «делуо» — смываю). В тех случаях, когда делювий покрывает не только основание склонов, но и прилегающие к нему пространства, образуется делювиальный шлейф.

Делювиальные отложения (суглинки, супеси, реже глины) имеют исключительно широкое распространение в равнинных степных районах. Развита они и в горных и предгорных районах, где к ним добавляются дресва и щебень. Мощность делювия увеличивается вниз по склону, достигая 15–20 м, а в горных районах до 30–50 м.

Делювиальные отложения часто образуются совместно с другими генетическими типами континентальных отложений. В этих случаях формируются смешанные элювиально-делювиальные, делювиально-аллювиальные отложения и т. п.

В строительной практике отмечены многочисленные случаи оползневых смещений делювиальных отложений при искусственной подрезке нижней части склона. В целом они отличаются недостаточной устойчивостью и рыхлостью.

Оврагообразование

Овраг — водно-эрозионная форма рельефа, часто сильно разветвленная, образованная временными водными потоками. Геологический процесс, обуславливающий их развитие, называют **оврагообразованием**.

Основной движущей силой возникновения и развития оврагов является **водная эрозия**, т. е. размыв и разрушение поверхности земли текучей водой. В отличие от плоскостного смыва (эрозии), когда текучая вода смывает весь поверхностный слой на склоне, при оврагообразовании действует в основном линейная водная эрозия, т. е. размыв и разрушение идут по линии максимального уклона поверхности склона.

Стадии развития оврага: **эрозионная борозда** — **рытвина** (глубиной до 1 м, длиной 5–20 м) (рис. 26.1) — **промоина** — **овраг**. Начало оврага называется **истоком** или **верховьем**, место впадения оврага в более глубокое понижение — **устьем**, боковые ответвления — **отвершками**.

Длина оврагов может достигать нескольких километров, глубина — до 40–50 м (в лесовой толще до 80–100 м), а ширина 150–300 м. Скорость развития оврага определяется размываемостью пород и может составлять от 0,3–0,8 м до 10–20 м/год.

Оврагообразование имеет исключительно широкое развитие в степной и лесостепной зонах нашей страны (Среднерусская, Верхневолжская, Приволжская, Приазовская возвышенности, степные районы Алтая и Восточной Сибири и др.).



Рис. 26.1. Эрозионная рытвина — начальная стадия развития оврага

Овраги затрудняют строительное освоение территории. Расчленивая местность, они представляют большую угрозу для населенных пунктов, дорожных и других инженерных сооружений. В ряде районов Центрально-Черноземной области Европейской части России почти четверть общей площади земель занимают бросовые земли, занятые действующими оврагами. Овражная эрозия — типичный процесс, приводящий к локальной потере ресурса геологического пространства со всеми вытекающими отсюда последствиями (В. Т. Трофимов и Д. Г. Зилинг, 2002).

Основные условия развития оврагов: 1) наличие легкоразмываемых пород (супеси, суглинки, особенно лессовые, в меньшей степени — пылеватые пески, глины, меловые отложения и др.); 2) ливневые осадки, быстрое весеннее снеготаяние, неорганизованный сброс техногенных и поливных вод; 3) крутизна склонов более 4–8°.

Глубина оврага ограничивается положением **базиса эрозии**, т. е. отметки уровня водоема, в который впадает овраг. Понижение базиса эрозии вызывает активизацию роста оврага и его углубление, что может создавать значительную угрозу для уже выстроенных сооружений.

Овраг растет вершиной вверх по склону вплоть до водораздельной линии. Одновременно происходит и его углубление и расширение за счет размыва склонов оврага и появления боковых отвершков. При достижении оврагом водораздельной линии, а устьем — базиса эрозии развитие оврага затухает. Его дно выполаживается, склоны покрываются растительностью. Овраг полностью утрачивает свою размывающую деятельность и превращается в балку, отрицательную форму рельефа с плоским дном и пологими задернованными склонами.

Понятно, что настоящую опасность при строительном и ином хозяйственном освоении территории представляют действующие или растущие овраги. Признаками растущих оврагов являются крутые обнаженные склоны, резко выраженные бровки, V-образный поперечный профиль, боковые отвершки и т. д.

Мероприятия по борьбе с оврагообразованием носят комплексный характер и делятся на профилактические и активные (инженерные).

Профилактические мероприятия направлены на предотвращение развития процессов оврагообразования. Запрещается вырубка леса, продольная распашка склонов, неумеренный выпас скота, производство земляных работ на склонах и т. д.

К **инженерным мероприятиям** относится устройство простейших гидротехнических сооружений для перехвата и отвода поверхностного стока воды: нагорных канав, водозадерживающих валов, расплывителей стока, водосборных железобетонных лотков и т. д. По дну оврагов возводится система запруд для гашения энергии размывающего потока. Участки активного размыва засыпаются грунтом и укрепляются с помощью каменной наброски, бетонных плит и т. п. с последующим мощением камнем.

§ 2. Речная эрозия и аккумуляция наносов

При проектировании и строительстве мостовых переходов, плотин и многих других сооружений, находящихся в зоне воздействия речных систем, существенное значение имеет инженерно-геологическая оценка интенсивности развития речной эрозии и характера аккумуляции наносов.

Речная эрозия проявляется в размыве русел рек и подмыве их берегов. Объектом этой водно-эрозионной деятельности является **речная долина**. В ее пределах и происходит аккумуляция (накопление) наносов.

Строение речной долины

В строении речной долины выделяют три основных геоморфологических элемента: русло, пойму и террасы (рис. 26.2, по Ф. В. Котлову).

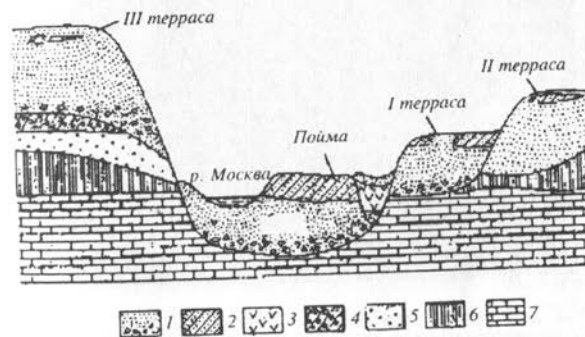


Рис. 26.2. Строение речной долины (по Ф. В. Котлову):
1 — русловой аллювий; 2 — пойменный аллювий; 3 — старичные отложения; 4 — ледниковые отложения; 5 — пески; 6 — глины;
7 — известняки

Русло — наиболее углубленная часть речной долины, занятая водным потоком. Поперечный разрез потока называют живым сечением.

Большое значение при выборе участков мостовых переходов имеет степень устойчивости русла, определяемая его боковым размывом.

Пойма — часть долины реки, которая затопляется в период паводка. Ширина пойм может быть от десятков метров до десятков километров (пойма р. Волга — 60 км).

Террасы речные — горизонтальные или слабонаклоненные площадки, расположенные вдоль склонов долины и ограниченные уступами (рис. 26.3). Первую террасу, которая возвышается над руслом, называют пойменной. Выше расположены надпойменные террасы (I, II и т. д.). В пределах равнинных рек обычно выделяют 3–5 надпойменных террас, в долинах горных рек до 8–10 и даже более, что связано с большой тектонической подвижностью этих районов.

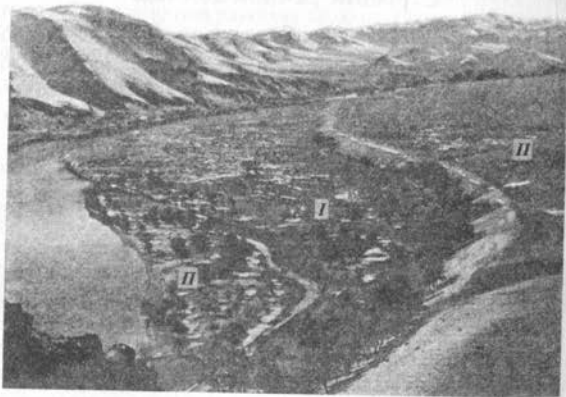


Рис. 26.3. Речные террасы в горном районе (фото В.А. Апродова): II — пойма; I — первая надпойменная терраса; II — вторая надпойменная терраса

По происхождению и геологическому строению террасы подразделяются на эрозионные, аккумулятивные и цокольные.

Эрозионные, или скульптурные, террасы формируются обычно в долинах горных рек и практически не содержат покрова аллювиальных, т. е. речных отложений. **Аккумулятивные террасы** (прислоненные

и вложенные) полностью сложены аллювиальными отложениями, а цоколь из коренных пород не обнажается на поверхности (террасы р. Волга, Дон и др.). В основании **цокольных террас** расположен цоколь из коренных пород, частично перекрытый аллювиальными отложениями.

Аккумуляция (накопление) основной части речных наносов происходит в низовьях рек — **дельтах**, которые представляют собой конус выноса с разветвленной сетью рукавов и протоков. Значительная часть аллювиальных (речных) отложений накапливается в руслах рек и на поймах.

По условиям накопления на различных участках речной долины выделяют следующие основные типы аллювиальных отложений: русловые, пойменные, старичные и дельтовые.

Русловой аллювий равнинных рек характеризуется преобладанием песчано-гравийного материала. В руслах горных рек обычно залегают крупнообломочные породы (валуны, галечники, гравий) с песчано-глинистым заполнителем. **Пойменный аллювий** формируется в период паводка и половодий и представлен обычно суглинками, супесями, глинами с включением прослоев и линз песков. Все эти слои отличаются невыдержанностью по составу и свойствам и могут обладать различной сжимаемостью. Более благоприятны для строительства отложения низких и особенно высоких террас.

Наихудшими строительными свойствами обладают **старичные отложения**, представленные водонасыщенными илами. По Н. Н. Маслову (1982), выявление погребенных линзообразных прослоев старичных илов в процессе инженерно-геологических изысканий является обязательной, но вместе с тем очень трудной задачей.

Весьма значительна мощность песчано-глинистых **дельтовых отложений** — от десятков до сотен метров. Дельтовые отложения рыхлые, неоднородные по составу, содержат легкорастворимые соли, органические остатки, биохимические газы. Строительство в районах распространения дельтовых отложений затруднительно и требует детального инженерно-геологического обоснования.

В формировании долин любого типа первостепенное значение имеет речная эрозия. Различают эрозию **донную**, или **глубинную**, и **боковую**, ведущую к размыву берегов. Уровень водного бассейна, в

который впадает река, является ее **базисом эрозии**. Он определяет глубину врезания (эрозии) речного водного потока (рис. 26.4).

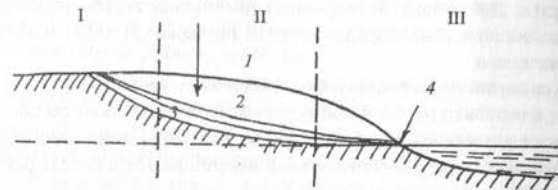


Рис. 26.4. Продольный профиль реки:

I — верхнее течение; II — среднее течение; III — нижнее течение; 1, 2, 3 — последовательные стадии врезания водного потока; 4 — базис эрозии

В развитии речной долины выделяют несколько стадий. В начальных стадиях водный поток, врезаясь в горные породы, вырабатывает крутосклонную (обрывистую) узкую долину. Резко преобладает донная эрозия.

По мере формирования профиля равновесия донная эрозия ослабевает, одновременно значительно усиливается боковая эрозия, которая приводит к подмыву и обрушению берегов. На этой стадии зрелости река становится извилистой, образуя большие петлеобразные излучины — **меандры**.

Характер геологической деятельности реки при меандрировании резко изменяется. На вогнутом участке долины (в северном полушарии это обычно правый берег) происходит подмыв берега, а на противоположном (выпуклом) отлагаются осадки, образующие отмели и острова. Меандрируя среди собственных наносов, река образует старичные озера или старицы. Постепенно они заполняются илстыми осадками и заболачиваются. На этой стадии «старения» речной долины окончательно вырабатывается **профиль равновесия реки** (см. рис. 26.4).

Интенсивность развития речной эрозии определяется, в первую очередь, степенью размываемости горных пород, в которых река прокладывает себе русло, и живой силой водного потока, т. е. кинетической энергией движущейся воды (Σ), определяемой по формуле:

$$\Sigma = \frac{mV^2}{2},$$

где m — масса воды; V — скорость течения.

Инженерно-хозяйственная деятельность человека может усиливать речную эрозию (сброс в реки большого количества воды с орошаемых территорий, дноуглубительные работы и др.) либо ослаблять ее (строительство плотин и создание водохранилищ и др.).

Борьба с эрозией рек. Наиболее интенсивно эрозионная деятельность рек проявляется в период паводков и половодий. На излучинах равнинных рек берега размываются со скоростью до 4–5 м/год, а в отдельные многоводные годы — до нескольких десятков метров в год. Эрозия создает серьезную угрозу для зданий и сооружений, расположенных в речных долинах.

Инженерно-геологическая оценка и прогноз подмыва и разрушения берегов рек и размыва русел основывается на детальном изучении геолого-гидрогеологических и геоморфологических особенностей речной долины, полевым и лабораторном исследовании состава, состояния и свойств горных пород, слагающих русло и берега. В комплексе с инженерно-геологическими изысканиями согласно СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства» следует проводить инженерно-гидрометеорологические изыскания. В ходе их проведения устанавливают колебания уровней и расходов воды в реке в течение года, режим руслового процесса, ледовый режим, расчетные скорости течения, границы зоны затопления и т. д.

Меры борьбы с эрозией рек подразделяют на профилактические и инженерные. К **профилактическим** относят различные меры с целью предупреждения опасных явлений: установление запретной полосы, исключающей строительство в зоне, подвергаемой интенсивной боковой эрозии, запрещение добычи стройматериалов из речных русел, что резко активизирует глубинную эрозию, проведение стационарных режимных наблюдений за интенсивностью развития речной эрозии и т. д.

Инженерные берегозащитные мероприятия включают строительство сооружений и берегоукреплений (каменная наброска с перевязкой каменных глыб металлическим тросом, устройство набережных (рис. 26.5), подпорных стенок, мощение, укладка бетонных плит, укрепление тетраподами и т. д.). К инженерным мероприятиям относят также устройство струнаправляющих стенок, дамб-бунов и траверсов с целью изменения направления течения реки.



Рис. 26.5. Берегозащитные мероприятия

Для защиты территории от наводнений в период паводков возводят земляные дамбы и плотины, устраивают водохранилища.

§ 3. Селевые потоки

Сели (от араб. «сайль» — бурный поток) — это внезапные кратковременные горные потоки, состоящие из смеси твердого материала и воды. Сели возникают в результате обильных и продолжительных ливней, в период бурного таяния снегов и ледников, а также при прорыве плотин, запруд и т. д.

Характерными особенностями селей, помимо внезапности и кратковременности действия, являются пульсирующий характер движения (из-за образующихся заторов), очень большая скорость движения (до 10 м/с), высокая эродирующая и ударно-разрушительная способность, обусловленная наличием твердого материала. Объем отдельных глыб, увлеченных селевым потоком, может достигать более 60 м³, масса

около 150 т, а энергия давления селя на препятствие — от 5 до 12 т на 1 м².

В зоне действия селей существует постоянная угроза разрушения мостов, плотин, трубопроводов, зданий и сооружений в населенных пунктах, завала глыбекаменной массой многолетних насаждений, посевов и т. д. Районы, подверженные селям, называют **селеопасными**.

Хорошо известен громадный селевой поток 8 июля 1921 г., внезапно вырвавшийся из горного ущелья на р. Малая Алмаатинка вблизи г. Алма-Ата и обрушившийся на город. Более 200 строений были сорваны с фундаментов и разрушены, погибло около 400 человек. На площадь города селем было вынесено 1,5 млн т глыбекаменного материала.

Сели распространены во всех горных районах мира, кроме Антарктиды. В России к селеопасным районам относится 25% всей ее территории (Северный Кавказ — Кабардино-Балкария, Дагестан, Северная Осетия; Кольский полуостров, Саяны, Прибайкалье, Камчатка и др.). Классические районы распространения селей на территории СНГ — горные районы Средней Азии, Закавказья и Казахстана.

Основными условиями развития селевых потоков являются: 1) большая площадь водосборного бассейна горной реки; 2) накопление на водосборной площади и в руслах водотоков достаточного количества рыхлых продуктов выветривания; 3) продолжительные обильные дожди после засушливого периода или бурное снеготаяние; реже — прорыв вод из естественных или искусственных водоемов (моренных озер, водохранилищ и др.).

Значительное влияние на образование селей может оказывать инженерно-хозяйственная деятельность человека, и в первую очередь оголение горных склонов путем хищнической вырубki лесов и уничтожения кустарников.

При инженерно-геологических изысканиях для строительства в селеопасных районах принято выделять (рис. 26.6):

- **зону формирования (питания) селей** — верхнюю часть селевого бассейна, в пределах которой происходит накопление рыхлого материала;
- **зону транзита (переноса)** — среднюю часть бассейна, где происходит движение селевого потока и его пополнение твердым материалом;

— зону отложения — нижнюю часть бассейна, в которой скорость движения селя резко уменьшается, транспортируемый материал отлагается в виде конусов выноса.

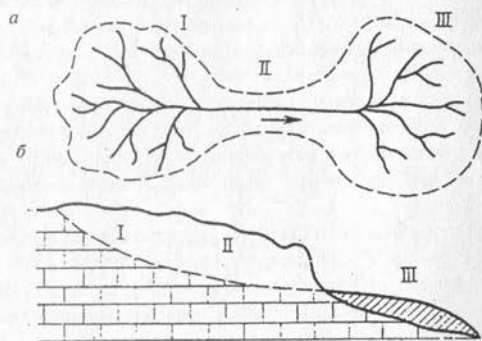


Рис. 26.6. Схематический план (а) и продольный профиль (б) селевого потока (по Н.Ф. Арипову и др., 1989). Зоны:

I — формирования селя; II — транзита (переноса); III — отложения (конус выноса)

По составу селевой массы сели подразделяют на **грязевые** (смесь воды и мелкозема — песчано-глинистого материала), **грязекаменные** (помимо мелкозема содержатся крупные обломки) (рис. 26.7) и **водокаменные** (смесь воды и крупнообломочного материала).

На начальных стадиях инженерно-геологических исследований необходимо установить степень опасности территории, намечаемой для строительного освоения. Ее оценивают по объему выноса материала после прохождения одного селевого потока (Г. И. Клиорина, В. А. Осин и др., 1984). К первой степени опасности относят территории, где объемы выноса превышают 1 млн м³, ко второй — с объемами выноса от 0,5 до 1 млн м³ и к третьей — менее 0,5 млн м³. К примеру, общий объем перемещенной массы в период прохождения селя в районе г. Алма-Ата в 1921 г. составил более 3,2 млн м³.

Инженерно-геологические изыскания в селеопасных районах проводят в комплексе с инженерно-гидрометеорологическими изыс-



Рис. 26.7. Отложения грязекаменного селевого потока

каниями по согласованию с территориальной службой МПР России, ведущей мониторинг (наблюдение) селей в данном районе.

Защита территории и сооружений от селевых потоков является сложной задачей. Она может быть решена лишь при комплексном подходе, т. е. при сочетании как инженерных (активных), так и профилактических мер. В противном случае возможны образование мощных селевых потоков и многочисленные разрушения (рис. 26.8).

К **профилактическим** относят меры, предупреждающие формирование селей или ослабляющие их действие в самом начале развития. В перечень этих мер входят: прекращение вырубki лесов на селеопасных горных склонах, лесонасаждения и посадка кустарников, ограничение выпаса скота, заблаговременные спуски существующих водоемов (моренных и ледниковых озер), террасирование горных склонов, регулирование поверхностного стока и другие лесомелиоративные и агротехнические мероприятия.

Для **инженерной защиты территории, зданий и сооружений** от селевых потоков применяют селезадерживающие, селепропускные, селенаправляющие и стабилизирующие сооружения и мероприятия (СНиП 22-02-2003). Их проектируют и возводят для задержания селевого потока в верхнем бьефе и для образования селехранилищ,



Рис. 26.8. Мост через реку Урух (Северная Осетия — Алания), разрушенный селевым потоком

пропуска селевых потоков через объект или в обход него, направления селевого потока через объект или в обход него, направления селевого потока в селепропускное сооружение, прекращения движения селевого потока или его ослабления (каскад запруд, подпорные стенки, дренажные устройства и др.).

Наиболее надежное средство для защиты населенных пунктов и территории от возможных селевых потоков — высокие массивные дамбы и плотины, перегораживающие русла горных рек. Примером может служить плотина высотой 115 м, возведенная в 1971 г. на Малой Алмаатинке в урочище Медео. Плотина была создана из местных каменных материалов способом направленного взрыва с последующим наращиванием взорванного материала в виде насыпи. С ее помощью в 1973 г. был задержан катастрофический сель объемом до 4,0 млн м³ грязекаменной массы и до 1,5 млн м³ паводковой воды. Тем самым г. Алма-Ата был спасен от больших разрушений и человеческих жертв.

Необходимо подчеркнуть, что борьба с селевыми потоками — один из важнейших вопросов охраны и рационального использования геологической среды. Проектирование и строительство противоселевых сооружений без должного учета особенностей этого опасного

геологического процесса и без прогноза его возможных негативных последствий могут оказаться не только неэффективными, но и нанести существенный вред окружающей природной среде.

§ 4. Абразия морских берегов

Абразия (от лат. «абразо» — брею, соскабливаю) — разрушение морских берегов волнами, прибоем и течениями. Основную разрушительную работу совершает прибой и в меньшей мере различные течения (прибрежные, донные), а также приливы и отливы. Морская абразия изменяет очертания береговой линии и отодвигает ее в сторону суши. По А. Д. Говарду (1982), берег в любой данный момент являет собой кратковременную стадию борьбы между сушей и морем.

Абразионная деятельность моря представляет значительную угрозу для различных сооружений, расположенных на прибрежных территориях (жилых и промышленных зданий, железных и автомобильных дорог и т. д.). Морская абразия сокращает полезную площадь приморских городов (Сочи, Одесса, Ялта и др.), активизирует развитие опасных геологических процессов (оползней, обвалов и др.) (рис. 26.9).

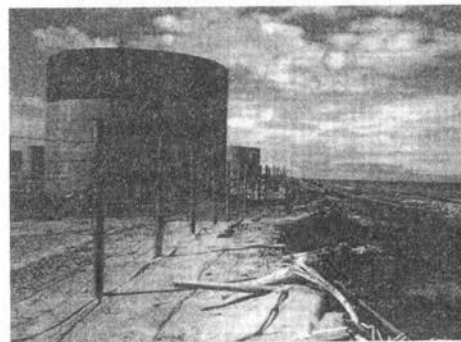


Рис. 26.9. Размыв берегов Печорского моря (фото С.А. Огородова)

Интенсивность абразии морских берегов зависит от многих факторов, среди которых важнейшие:

- ударная сила волн. Во время сильных штормов высота волн может достигать 15–20 м и более, а сила удара 10–30 т/м². Удары штормовых волн у берегов Испании и Франции регистрируются сейсмическими станциями ФРГ и Швейцарии;
- литологический состав, строение и состояние горных пород. Больше всего подвержены разрушению рыхлые песчано-глинистые породы, а также сильнотрещиноватые выветрелые скальные породы, особенно при падении их в сторону моря;
- высота и крутизна берегового склона; интенсивность абразии при прочих равных условиях значительно больше в случае высоких обрывистых берегов;
- современные тектонические колебательные движения; абразия усиливается при повышении уровня моря (трансгрессия). Отступление моря (регрессия) ослабляет абразию.

Известную роль в развитии морской абразии играют приливы и отливы, а также морские береговые течения, регулирующие накопление обломочного материала вдоль береговой линии.

Резко усиливают абразионные процессы инженерно-хозяйственная и строительная деятельность человека. Увеличение антропогенной нагрузки нарушает установившееся природное равновесие между берегом и морем. По данным Н. Л. Шешени (2003), активные абразионные процессы под влиянием деятельности человека проявляются на Черноморском побережье на протяжении 150 км, на Балтийском — 115 км. Широкое развитие они имеют на побережьях и других морей нашей страны.

Морфология морского берега. В типичном профиле побережья моря в верхней части берегового склона выделяют отвесный береговой уступ (клиф) (рис. 26.10), образующийся в результате обрушения волноприбойной ниши. В нижней части уступа начинает формироваться новая волноприбойная ниша, над которой в определенный момент вновь обрушиваются горные породы. Уступ в результате этих процессов постепенно отступает в сторону суши, оставляя за собой слабонаклоненную к морю подводную абразионную террасу (бенч).



Рис. 26.10. Схема строения морского берега (по В.П. Зенковичу)

Полоса между береговым уступом и террасой, полого спускающаяся в сторону моря и сложенная галькой, гравием или песком, называется пляжем. В период шторма пляж заливается волнами. К абразионной террасе в зоне моря примыкает аккумулятивная терраса, на которую сносятся и откладывается рыхлый материал.

Геологическая работа моря — это не только разрушение береговой зоны, но и накопление (аккумуляция) продуктов разрушения. Береговые осадки накапливаются в форме пляжей, аккумулятивных террас, береговых валов, песчаных кос и других аккумулятивных форм рельефа. Со строительной точки зрения они могут вызывать определенные трудности (заиление и др.) при эксплуатации приморских гидротехнических сооружений. С другой стороны, пляжевые накопления, узкой полосой протягивающиеся вдоль морского берега, являются лучшей его природной защитой от разрушения.

Основная задача инженерно-геологических изысканий для обоснования строительства в районах активной абразионной деятельности моря — детальное изучение геолого-гидрогеологических и геоморфологических особенностей прибрежной территории, волно-ветрового режима моря и других факторов и оценка их роли в изменении береговой линии.

Величину интенсивности переформирования морского берега под влиянием абразии (H_n) оценивают по формуле:

$$I_n = \frac{\sum S}{T},$$

где S — величина горизонтального перемещения линии уреза воды; T — время, в течение которого выполнялись наблюдения.

На основании данных о геолого-гидрогеологических и геоморфологических особенностях территории, величине I_n , характере деформации морского берега и других данных, полученных на ключевых участках, составляют карту инженерно-геологического районирования территории проектируемого строительства. Оценивают степень пригодности отдельных участков для застройки и обосновывают проекты берегозащитных мероприятий.

Мероприятия по борьбе с морской абразией. Выше уже отмечалось, что важнейшим условием, предотвращающим разрушения морского берега от волнового воздействия, является сохранение пляжа. При наличии пляжа достаточной ширины (более 20 м) энергия штормовых волн практически полностью гасится в его пределах. Практика показывает, что это условие нередко не выполняется, в частности, происходит изъятие песчаного и гравийно-галечного материала с пляжей для строительных целей. Например, по данным В. Ф. Котлова, в недалеком прошлом на отрезке протяженностью 100 км между городами Туапсе и Адлером за год на пляж из горных рек поступало 170 тыс. м³ гальки, а потери составляли 320 тыс. м³ (изъятие галечника для строительства).

Ослабляют процессы формирования пляжа и другие причины, например, неправильное заложение портовых и берегоукрепительных сооружений, изменяющих установившиеся пути движения морских донных осадков.

Важнейшей задачей в борьбе с абразией морского берега является возведение **защитных инженерных сооружений**: пассивных и активных.

К **пассивным** относятся берегоукрепительные сооружения, которые принимают удары морских волн на себя и временно задерживают разрушение берега (волноотбойные стены, набережные, каменные наброски, прямые и ступенчатые откосные сооружения, волногасящие бермы из фигурных массивов и т. д.).

Эти сооружения, как правило, недолговечны, в особенности на крутых берегах. Например, имеются примеры разрушения набережных через 8–10 лет после их возведения.

В состав берегозащитных сооружений **активного типа** входят сооружения, которые служат не только для гашения энергии волн, но и для накопления и удерживания наносов, слагающих пляж. С их помощью человек активно вмешивается в берегоформирующие процессы. Главнейшие представители пляжеудерживающих сооружений — бунны и подводные волноломы.

Бунны — поперечные бетонные массивы, дамбы из каменной наброски и др., устанавливаемые под прямым углом к линии берега (рис. 26.11). Их назначение — прервать вдольбереговое перемещение наносов и способствовать их накоплению на берегу. За счет этого образуется (или стабилизируется) пляж необходимой ширины. Расстояние между буннами принимается равным не менее одной длины бунны.

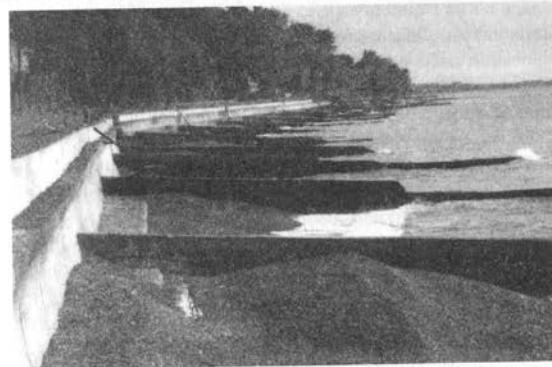


Рис. 26.11. Укрепление морского берега (Черноморское побережье Кавказа, район г. Сочи)

Волноломы — это дамбы из каменной наброски или массивы из бетона, которые, в отличие от бун, создают параллельно защищаемому берегу на расстоянии 30–40 м от него и на глубине от 2 до 4 м. В необходимых случаях устраивают несколько параллельных рядов

волноломов. Их назначение формировать и удерживать пляжевые наносы (рис. 26.12).

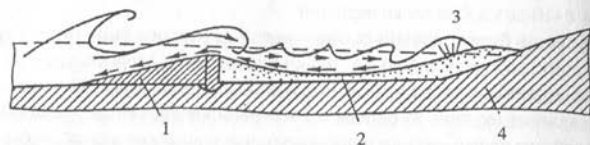


Рис. 26.12. Берегозащитные сооружения:

1 — пологая грань волнолома; 2 — обломочный материал; 3 — пляж; 4 — коренные породы

В настоящее время общей тенденцией морской берегозащиты является переход к комплексной инженерной защите морского берега, сочетающей одновременное возведение бун, волноломов, волноотбойных стен, а также периодическую подсыпку пляжей песчано-щебенчатым материалом. Обязательны профилактические меры, например, регулирование стока рек, впадающих в море, для увеличения объема наносов, сохранение естественного дернового покрова, деревьев и кустарников в береговой полосе, примыкающей к пляжу и другим берегозащитным сооружениям.

Все берегозащитные мероприятия должны быть направлены на сохранение природного равновесия в прибрежной зоне моря. Строительство берегозащитных сооружений должно осуществляться с минимальным ущербом для геоэкологической обстановки, а по возможности способствовать ее улучшению.

§ 5. Переработка берегов водохранилищ

Интенсивной абразии могут подвергаться не только берега океанов, морей и озер, но и искусственных водохранилищ. В этом случае обычно говорят о **переработке берегов**, под которой понимают процессы их формирования и разрушения непосредственно вслед за заполнением водохранилища.

В мире насчитывается более 10 000 водохранилищ с суммарным объемом 5 тыс. км³. Общая длина береговой линии водохранилищ в

нашей стране (Братского, Саратовского, Цимлянского, Волжского и др.) соизмерима с протяженностью морских границ и составляет более 200 тыс. км. Все крупнейшие водохранилища созданы в речных долинах: Волги, Енисея, Ангары, Дона и других рек.

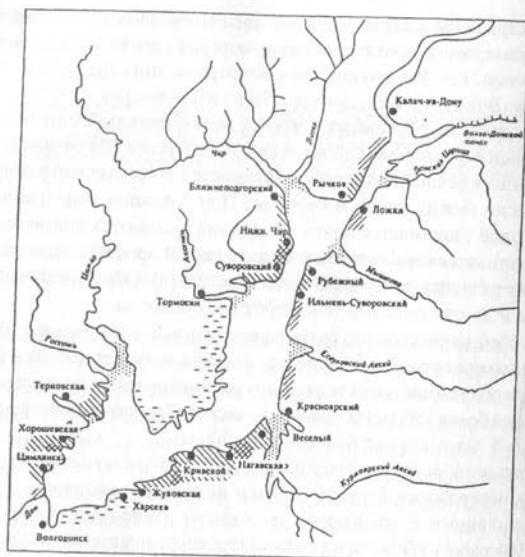
Как правило, переработка берегов водохранилищ носит более интенсивный характер, чем абразия морских берегов. До создания водохранилища в речной долине вырабатывается относительно устойчивое равновесие между рекой и берегом. При создании водохранилища, когда водой заполняется почти вся долина, создаются новые условия. Водохранилище стремится выработать новый профиль берегов, энергично их разрушая и перерабатывая (рис. 26.13). Образуются оползни, обвалы и другие опасные геологические процессы.

Особенно интенсивно размываются берега, сложенные рыхлыми осадочными породами. Например, ширина зоны переработки берега, сложенного глинистыми породами, на Днепровском водохранилище достигала более 150 м. На одном из участков Братского водохранилища берег за 5 лет отступил более чем на 700 м.

Опасность развития береговых процессов заключается в том, что в зону переработки берегов нередко попадают населенные пункты, промышленные и транспортные объекты, линии электропередач и т. д. Переработка берегов водохранилищ сопровождается активизацией опасных склоновых и карстово-суффозионных процессов, заболачиванием берегов (Рыбинское водохранилище), развитием просадочных явлений в лессовых породах (Цимлянское водохранилище) и другими неблагоприятными геологическими процессами.

Велики размеры подтапливаемой территории, которая создается за счет подпора водохранилищем горизонтов грунтовых вод. Зоны подтопления по своим размерам нередко приближаются к самим водохранилищам. Так, площадь подтапливаемой территории в районе Новосибирского водохранилища составила более 1000 км², а площадь его зеркала 1070 км² (И. А. Парабучев и др., 1989).

Переработка берегов и формирование чаши водохранилища — сложный процесс, который зависит от многих природных и техногенных факторов. К числу важнейших относят геологические условия (литологический состав, свойства и условия залегания горных пород), размеры и конфигурация берегов водохранилища, гидрологические факторы (в частности, силу удара волн, частоту сработки уровня,



1 2 3 4 5

Рис. 26.13. Переработка берегов Цимлянского водохранилища (по А.Б. Авакяну и В.А. Шарипову). Берега: 1 — абразионный; 2 — абразионно-обвальный; 3 — абразионно-оползневой; 4 — нейтральный; 5 — аккумулятивный

глубину воды, наличие течений), климатические условия (силу и направление ветра и др.).

Динамика развития процессов переработки берегов водохранилищ в разные периоды их эксплуатации различна. Выделяют три стадии развития: активную, стабилизации и динамического равновесия. Особенно интенсивно берега размываются в первые 2–3 года после наполнения чаши водохранилища. Наибольшему разрушению подвергаются

приглубые берега с крутизной склонов более 6° . На отмельных берегах (крутизна склонов менее 6°), наоборот, образуются аккумулятивные наносы. Максимальное отступление берега отмечено на Рыбинском водохранилище — 350 м в течение 2 лет после заполнения. Период активной абразии берегов сменяется периодом стабилизации, который в зависимости от инженерно-геологических условий, размера водохранилища и других факторов занимает от 10 до 50 лет. Прекращение активных процессов переработки берега свидетельствует о выработке динамического равновесия. Отступление бровки берега практически прекращается, однако некоторые геологические процессы продолжают развиваться, хотя и в незначительной степени.

При инженерно-геологических изысканиях для обоснования проектов водохранилищ и строительства в прибрежных зонах основное внимание уделяют прогнозу интенсивности переработки берегов. При прогнозе оценивают: 1) ширину полосы возможного размыва берега и 2) интенсивность процесса переработки берега, т. е. ширину береговой полосы, которая будет размыва за 1 год, 10 лет, 20 лет и более. Для этих целей используют в основном метод аналогий и методы расчета по эмпирическим зависимостям, предложенным Е. Г. Качугиным, Г. С. Золотаревым и другими учеными.

Защита берегов водохранилища от переработки включает как профилактические, так и инженерные (активные) мероприятия. К первой группе относят мероприятия, направленные на предупреждение развития опасных береговых процессов: планировку береговых откосов, лесомелиорацию — посадку древесно-кустарниковых насаждений на береговых склонах и подводной растительности у берегов, запрещение устройства на склонах различных выемок, землечерпательных работ в основании склонов и др.

Вторую группу защитных мер составляют инженерные мероприятия по укреплению береговых склонов. Устраивают различного рода покрытия из камня, асфальта, железобетонных плит, экологических геосинтетических материалов. При создании очень крупных водохранилищ применяются меры по гашению энергии волн (защитные дамбы, волноломы, буны и др.).

Следует принимать специальные антисейсмические меры при проектировании водохранилищ глубиной более 100 м в тектонически активных районах, в связи с возможным развитием «наведенных» землетрясений после заполнения чаши водохранилища.

Глава 27. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

§ 1. Карст

Под **карстом** понимают совокупность процессов и явлений, связанных с растворением трещиноватых горных пород (известняков, гипса, каменной соли и др.) и образованием отрицательных форм рельефа на поверхности земли и различных полостей, каналов и пещер в глубине. Нередко развитие карста сопровождается провалами и оседанием кровли, образованием воронок, озер и других впадин на земной поверхности.

Термин «карст» произошел от одноименного названия известнякового плато в бывшей Югославии близ г. Триеста, где подобные явления наиболее развиты. Горные породы, которые подвержены развитию карста, называют **карстующимися**, массивы горных пород — **закарстованными**, а районы, где развивается карст, — **карстовыми**. Провалы и оседания земной поверхности, вызванные карстом, представляют значительную опасность для существующих зданий и сооружений. Особенно это относится к строительству и эксплуатации в карстовых районах гидротехнических, транспортных и подземных сооружений (прорывы карстовых вод в тоннели, провалы грунтов под зданиями и на трассах железных дорог, разрушения мостов, незаполняемые водохранилища и другие аварии и деформации).

Карст широко распространен в мире. Карсту подвержена значительная часть всей суши Земли, в том числе большие площади и в России (центральная часть Русской равнины, западное Приуралье (рис. 27.1), Приангарье, Северный Кавказ и многие другие районы, где имеются растворимые горные породы. Интенсивность развития карстовых процессов может быть весьма высокой. Так, например, по данным Р. Ньютона (1984), в США только в штате Алабама за последнее время возникло огромное число искусственно вызванных провалов и оседаний земной поверхности, связанных с техногенной активизацией карста. Отдельные воронки достигали 50–60 м в диаметре и до 30 м глубиной.



Рис. 27.1. Карстовая провальная воронка (памятник природы) в пос. Акташ (Республика Татарстан)

Основные условия и интенсивность развития карста. Необходимыми условиями развития карста являются: 1) наличие растворимых горных пород; 2) трещиноватость пород, обеспечивающая проникновение воды; 3) растворяющая способность воды и ее активная циркуляция (движение) по трещинам.

При сочетании на конкретном участке этих условий развитие карста неизбежно, при исключении хотя бы одного из них — карст не образуется.

По характеру растворимых пород различают три основных типа карста: **карбонатный** (известняк, доломит, мел, мергель), **сульфатный** (гипс, ангидрит) и **соляной** (каменная и калийная соли).

По подсчетам ученых, карбонатные карстующие породы (обнаженные и погребенные) на всех континентах Земли занимают площадь 40 млн км², гипсы — около 7 млн км² и соли — до 4 млн км².

Карбонатный карст, распространенный в мире наиболее широко, развивается очень медленно, так как он связан с труднорастворимыми породами — известняками, доломитами и другими карбонатными породами. Наибольшую опасность представляют существующие до начала строительства карстовые формы, а также возможная их активизация под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Типичным примером техногенной активизации карбонатного карста может служить образование **карстово-суффозионных воронок** на территории г. Москва. В этих случаях развитие карстового процесса сопровождается суффозионным выносом тонкодисперсного глинист-

того заполнителя из карстовых полостей фильтрационным потоком. Ранее Москва считалась городом, где карстовые процессы затухли и не проявляли себя на поверхности земли. Однако интенсивный отбор подземных вод, подработка территории, утечки вод из подземных коммуникаций, а также динамические и вибрационные воздействия транспорта и строительных работ и некоторые другие факторы (возможно, загрязнение подземных вод) заметно усилили эти процессы.

По данным В.И. Осипова (1997), в результате интенсивных откачек подземных вод в северо-западной части г. Москвы за последние 25 лет возникло 42 карстово-суффозионных провала диаметром от нескольких метров до 40 м и глубиной от 1,5 до 5–8 м. При этом пострадали три пятиэтажных здания, которые пришлось из-за серьезных деформаций разобрать.

В среднерастворимых породах (**сульфатный карст** в гипсах и ангидридах) скорость развития карстовых процессов соизмерима со сроками строительства и эксплуатации сооружений. И, тем не менее, сульфатный карст представляет серьезную угрозу при строительном освоении территории (углубление огромных карстовых воронок на железной дороге в районе г. Уфы и др.).

Наибольшей скоростью развития отличается **соляной карст** (легкорастворимые каменная, калийные и другие соли). Поэтому строительство сооружений в районах его развития рекомендуется выносить за пределы опасных участков. Например, вряд ли целесообразно какое-либо строительство в районе Илецкого соляного купола, где на площади 5 км² ежегодно образуются несколько провалов глубиной до 10 м и более.

На скорость развития карстового процесса во всех типах карста огромное влияние оказывает интенсивность водообмена, которая, в свою очередь, зависит от особенностей рельефа и его гипсометрического положения относительно базиса эрозии (ближайших рек, водоемов и т. п.). Карстовый процесс будет активно развиваться до тех пор, пока уровень подземных вод в закарстованном массиве не достигнет уровня местного базиса эрозии. После достижения этого уровня развитие карста приостанавливается.

Толща горных пород, расположенная выше уровня грунтовых вод, где развита активная циркуляция воды и происходит образование различных пустот и полостей, называется **зоной карстообразования**.

Ниже уровня грунтовых вод располагается зона цементации, для которой характерно заполнение трещин природным цементом и затухание карстового процесса.

Типы и формы карстового рельефа. Существует два основных типа карстового рельефа: 1) **закрытый**, когда карстующиеся породы покрыты толщей нерастворимых пород различной мощности (Русская равнина и др.) и 2) **открытый** (поверхностный), при котором карстующиеся породы выходят непосредственно на дневную поверхность (молодые складчатые горы Крыма, Закавказья и др.).

Формы карстового рельефа подразделяют на поверхностные и подземные.

Поверхностные карстовые формы представлены каррами, провальными воронками, понорами, карстовыми котловинами, полями и другими формами карстового рельефа (рис. 27.2, по Н. И. Николаеву).

Карры — это небольшие углубления (от нескольких сантиметров до 1–2 м) типа борозд на поверхности карстующихся пород, главным образом известняков.

Наиболее распространенной карстовой формой является провальная воронка, которая образуется в результате обрушения горных пород над подземной карстовой полостью. Диаметр воронок колеблется от 1–2 до 40–50 м, редко до 100 м и более, глубина различная — от 1–2 м до десятков метров и более (иногда до 100 м). На дне карстовых воронок может находиться водопоглощающее отверстие — понор.

Карстовые провальные воронки возникают внезапно, поэтому они представляют главную опасность для сооружений в карстовых районах. Например, по данным ПНИИСа, в г. Дзержинске Нижегородской области в 1992 г. произошел карстовый провал диаметром 30 м и глубиной 20 м. Рухнули пять продольных пролетов завода «Химмаш» шириной по 24 м и длиной 204 м (рис. 27.3).

К наиболее крупным поверхностным карстовым формам относятся замкнутые впадины — **карстовые котловины** и поля, которые достигают очень больших размеров (десятков и сотен квадратных километров).

Примерами **подземных карстовых форм** могут служить пещеры (рис. 27.4), естественные шахты, колодцы, галереи, каналы, каверны и др. Самые крупные в мире карстовые пропасти имеют глубину более

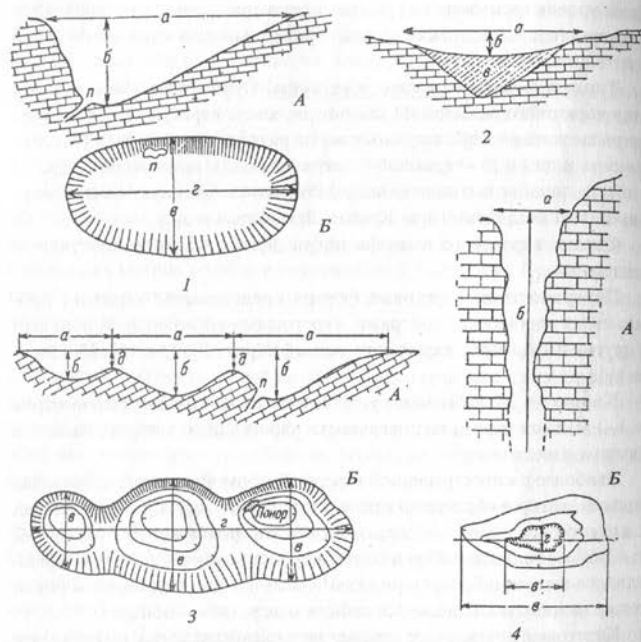


Рис. 27.2. Поверхностные и подземные карстовые формы:

- 1 — провальная воронка; А — профиль; Б — план; П — понор;
 2 — блюдцеобразная воронка; в — делювий, заполняющий дно воронки;
 3 — карстовая котловина; 4 — карстовый колодец

1100 м, длиннейшие пещеры мира превышают 100 км и более. В ряде карстовых районов наблюдаются исчезающие озера, а также реки, которые движутся по огромным подземным руслам. Крупнейшая из исчезающих рек — р. Требишница в бывшей Югославии. Эта река длиной 90 км имеет поверхностный водоток лишь на протяжении 40 км.



Рис. 27.3. Карстовый провал в основании корпуса завода «Химмаш» (г. Дзержинск)

Инженерно-геологические изыскания в карстовых районах.

В состав работ входят изучение форм и механизма формирования поверхностных и подземных карстовых проявлений, оценка устойчивости массивов горных пород, степени активности карстового процесса, возможности его активизации под воздействием техногенных факторов и др.

При оценке степени активности карстового процесса, в первую очередь, выделяют пассивный (древний) и активный (действующий) карст. Наибольшую опасность для строительства представляет действующий карст, степень активности (А) которого оценивается (в %) по формуле:

$$A = 100 \cdot V_n / V,$$

где V_n — объем растворенной породы; V — общий объем карстующихся пород в массиве.



Рис. 27.4. Большая Азишская карстовая пещера (Северный Кавказ)

Для перспективного планирования размещения различных строительных объектов в карстовых районах очень важно установить **степень закарстованности территории**. Ее определяют в ходе маршрутных обследований, рассчитав количество провальных воронок, карстовых озер и других проявлений карста, приходящихся на 1 км^2 площади исследуемой территории.

Не менее важно оценить **устойчивость массивов горных пород** в карстовых районах, которую определяют по скорости образования карстовых воронок за год. К очень неустойчивым, согласно СНиП 22-02-2003, относят территории, где на 1 км^2 образуется свыше 1 карстового провала в год (I категория устойчивости), свыше 0,1 до 1,0 — к неустойчивым (II категория), свыше 0,05 до 0,1 — к недостаточно

устойчивым (III категория), свыше 0,01 до 0,05 — к несколько пониженной устойчивости (IV категория), до 0,01 — к относительно устойчивым (V категория).

При отсутствии карстовых провалов за последние 50 лет территория может рассматриваться как карстово-неопасная, т. е. устойчивая (VI категория) и проекты ее застройки следует выполнять как для некарстовых районов.

На территории, отнесенной к очень неустойчивой (I категория), строительство зданий и сооружений не рекомендуется. Строительство на территориях II—V категорий устойчивости допускается только с применением противокарстовых мероприятий.

Противокарстовые мероприятия. Для инженерной защиты зданий и сооружений от карста применяют следующие основные мероприятия (СНиП 22-02-2003): водозащитные, геотехнические (укрепление оснований) и конструктивные.

Существует три основных направления противокарстовой защиты.

К первому относят **активные меры**, направленные на коренное изменение или предотвращение карстового процесса: 1) укрепление оснований путем тампонажа (заполнения) карстовых полостей и трещин песчано-глинистым материалом, а также нагнетанием в них цементного раствора, горячего битума, жидких смол; 2) опирание фундаментов на надежные незакарстованные или закрепленные грунты.

Второе направление противокарстовой защиты предусматривает **максимальное сокращение инфильтрации** поверхностных, техногенных и хозяйственно-бытовых вод в грунт (вертикальная планировка земной поверхности, противофильтрационные завесы и экраны, дренаж агрессивных подземных вод, ограничение откачек подземных вод и др.).

При невозможности укрепить или предохранить закарстованный массив от развития карста следует использовать третье направление — **конструктивные меры**. В их состав входят специальные конструктивные решения фундаментов, в том числе устройство опор глубинного заложения, надфундаментные и поэтажные пояса, повышение прочности и жесткости сооружений и др.

В необходимых случаях следует организовать мониторинг (наблюдения) за деформациями зданий и сооружений, оседанием земной поверхности, состоянием грунтов и уровнем подземных вод. Строительными нормами и правилами предусматривается также система автоматической сигнализации на случай появления недопустимых карстовых деформаций.

§ 2. Механическая суффозия

Механическая суффозия — процесс выноса мелких частиц из рыхлых обломочных пород фильтрующейся водой. Для развития механической суффозии необходимы значительная скорость движения подземной воды для отрыва и выноса тонких фракций грунта, а также наличие условий для разгрузки песчано-глинистого материала.

Механическая суффозия чаще всего наблюдается в тонко- и мелкозернистых песках, реже — в пылевато-глинистых и других породах. Суффозия сопровождается оседанием вышележащих пород, образованием пустот, воронок и провалов. Как правило, механическая суффозия развивается сравнительно медленно (годы, десятки лет) и проявляется в основном на локальных участках, реже — имеет региональное распространение (Нижнее Поволжье, южные районы Сибири и др.).

Значительно более интенсивно протекает процесс **техногенной механической суффозии**. Она развивается в случае выноса песчано-глинистого материала в строящиеся подземные коллекторы при авариях водопроводных систем, быстрой сработки уровней водохранилищ, длительных откачках подземных вод, работе дренажа и др.

По данным Ф.В. Котлова, за 20 лет эксплуатации одной из дренажных систем в г. Москве было вынесено более 300 тыс. м³ песчано-глинистого материала. Суффозионный вынос этого материала сопровождался ухудшением свойств грунтов — увеличением их сжимаемости, снижением прочностных параметров, что привело к деформациям различных сооружений и развитию опасных геологических процессов (карста, оползней и др.).

В 70–90-е гг. прошлого столетия негативные последствия суффозии, по оценке А. Л. Рагозина (1993), наблюдались в 958 городах

России. В настоящее время значение суффозионной опасности еще более возросло (рис. 27.5).



Рис. 27.5. Суффозионный провал (фото из архива ПНИИСа, г. Москва)

Основными условиями развития механической суффозии являются:

- 1) неоднородность гранулометрического состава песчаных грунтов, при которой возможен вынос мелких частиц из песчаной толщи;
- 2) критическая величина вымывающих скоростей фильтрационного потока;
- 3) наличие условий для выноса мелких частиц на дневную поверхность в основаниях склонов, строительных котлованах, различных выемках и т. д.

Для ориентировочной оценки суффозионной опасности грунта используют коэффициент неоднородности гранулометрического состава (по З. Хазену), определяемый по формуле $K_n = d_{60} / d_{10}$, где d_{60} и d_{10} — диаметры, соответствующие 60- и 10%-ному содержанию фракции. Песчаные грунты разделяются на **суффозионные** — $K_n > 20$, **переходные** (суффозионные и несущезуффозионные) — $K_n = 10-20$ и **несуффозионные** — $K_n \leq 10$.

В суффозионном грунте соотношение размеров наиболее мелких d_{\min} и наиболее крупных d_{\max} частиц в грунте должно быть не менее 20, а соотношение диаметров пор D и преобладающей в грунте фракции d должно отвечать условию

$$D/d \geq 8.$$

Суффозия может возникать и на контакте двух различных по составу слоев, например глинистого и песчаного. Для развития суффозии необходимо соотношение коэффициентов фильтрации двух смежных слоев более чем 3.

Обязательным условием развития механической суффозии является также критическая величина гидравлического градиента $I_{кр}$ водного потока. Многочисленные исследования показали, что при значениях $I_{кр} \geq 5$ в песчаном грунте возникает турбулентное движение, мелкие частицы переходят во взвешенное состояние и могут выноситься вместе с фильтрационным потоком. Величина критического градиента $I_{кр}$ определяется по формуле Е. А. Замарина:

$$I_{кр} = (\rho_s - 1)(1 - n) + 0,5n,$$

где ρ_s — плотность частиц песка, г/см³; n — пористость (доли ед.).

В последнее время для прогноза развития механической суффозии помимо материалов инженерно-геологических изысканий подключают математический аппарат, реализуемый на базе специального программного обеспечения.

Так, в процессе изысканий в районе г. Щелково Московской области было выдвинуто предположение, что развитие деформаций одного из жилых домов связано с суффозией (Г.В. Земский, 2003). Для проверки этой концепции был проведен анализ кровли коренных дочетвертичных пород (рис. 27.6). Установлено, что на участках поверхности дочетвертичных пород с уклоном более 44° размывающая сила потока подземных вод достаточна для развития суффозии в вышележащей толще песков и супесей, что и явилось причиной деформации здания.

С процессом механической суффозии генетически связаны суффозионно-эрозионные процессы и явления в дельтах Терека, Сулака, Дуная, Амударьи и других рек.

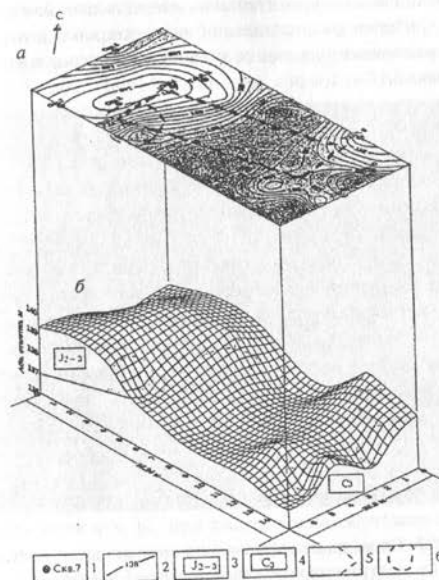


Рис. 27.6. Карта кровли дочетвертичных пород:
а — карта изолиний; б — трехмерное изображение поверхности
(по Г.В. Земскому): 1 — скважина; 2 — изолиния; 3 и 4 — геологический
возраст; 5 — контур здания; 6 — участки кровли с уклоном более 44°

Главной причиной развития этих процессов являются крупные погребенные трещины усадки в аллювиальных глинах и оросительная вода, которая проникает в эти трещины через толщу вышележащих песчаных отложений (Передельский, Ананьев, 1983). Возникает суффозионный процесс, который, в сочетании с эродирующей деятельностью оросительной воды, сопровождается выносом песчаных частиц в открытые погребенные трещины усадки и образованием в толще покровных песков крупных подземных полостей.

В местах, где дно оросительных каналов или поверхность орошаемой территории располагается близко к кровле этих подземных полостей, возможно обрушение кровли с образованием провальной воронки (рис. 27.7).

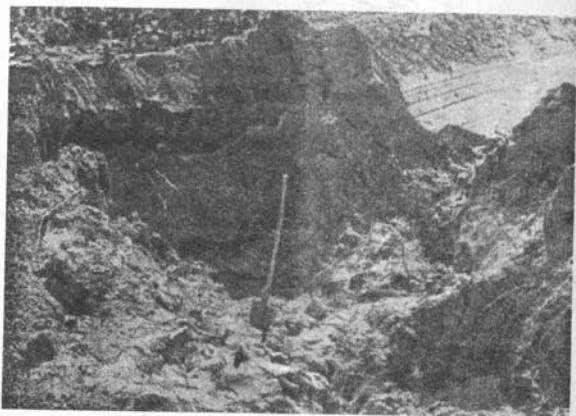


Рис. 27.7. Провальная суффозионно-эрозионная воронка в дне оросительного канала (дельта Сулака)

В СНиП 22-01-95 «Геофизика опасных природных воздействий» суффозия включена в перечень процессов, представляющих опасность для строительства.

К основным мероприятиям по борьбе с механической суффозией следует относить: 1) прекращение движения воды через размываемый массив; 2) осушение или уменьшение скоростей движения воды до безопасных величин; 3) перекрытие мест выхода подземных вод тампонированием или присыпкой песка; 4) искусственное закрепление ослабленных суффозией пород методами технической мелиорации (цементацией, глинизацией, битуминизацией и др.).

При разработке практических рекомендаций по борьбе с суффозионно-эрозионными процессами на орошаемых площадях в основу должен быть положен принцип взаимобратимости процессов набухания и усадки. Для этого рекомендуется предварительное замачива-

ние опасных участков путем многократных прямых поливов с целью набухания глин и последующего смыкания трещин.

При строительстве каналов на дефектных участках можно рекомендовать устройство бетонной облицовки, а при строительстве в выемке необходимо удалить трещиноватые набухающие глины и заменить их на ненабухающие суглинки.

§ 3. Подтопление

Процесс подтопления — яркий пример ответной реакции геологической среды на действие техногенных факторов. Впервые он привлек к себе внимание при создании водохранилищ, когда уровень грунтовых вод по их берегам стал подниматься. В настоящее время под **подтоплением** понимают любое повышение уровня грунтовых вод выше некоторого критического положения, при котором отсутствуют необходимые условия для строительства и эксплуатации как отдельных зданий, так и территории в целом.

В отличие от **затопления**, которое происходит в результате паводков, нагонов волн и т. д., при подтоплении образования свободной поверхности воды на территории не происходит (рис. 27.8).

Глубина **критического уровня грунтовых вод**, при котором возникает подтопление, зависит от глубины заложения и типов фундаментов, высоты капиллярной каймы, состава и свойств грунтов и др.

В большинстве случаев подтопленными считаются территории, где грунтовые воды поднимаются к поверхности земли до глубины менее 3 м, образуя своеобразные купола. По мере поступления воды площади куполов расширяются, а следовательно, увеличивается и площадь подтопления. На поверхность земли грунтовые воды обычно не выходят, что связано с влиянием испарения и транспирацией влаги растительностью.

Подтопление весьма негативно влияет на геологическую среду. Массивы горных пород переувлажняются и заболачиваются. Активируются оползни, суффозия, карст и другие опасные геологические процессы. В лессовых породах возникают просадки, в глинах — набухание. Возрастает сейсмическая балльность подтопленной территории.

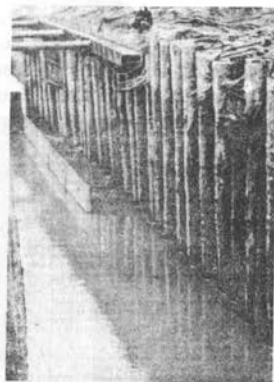


Рис. 27.8. Подтопление застраиваемой территории

Кроме того, в результате засоления почв угнетается растительность, возможно химическое и бактериальное загрязнение грунтовых вод.

Причины подтопления разнообразны, но практически всегда связаны с деятельностью человека.

В первую очередь, это — техногенные утечки воды из подземных водонесущих коммуникаций, прудов, отстойников, конденсация влаги под основаниями зданий и асфальтовыми покрытиями, засыпка естественных дренажей — оврагов, подпор грунтовых вод в прибрежных зонах водохранилищ, барражный эффект, т. е. задержка грунтовых вод при строительстве заглубленных подземных сооружений, неумеренный полив городских насаждений и др.

Под влиянием искусственных (техногенных) факторов уровни грунтовых вод могут подниматься на 10–15 м и более.

В настоящее время подтопление территорий, особенно в районах крупных городских агломераций, приняло массовый характер. Из 1092 городов России в той или иной степени подтоплено по состоянию на 2002 г. — 960 (87,9%). Среди них — Москва, Новосибирск, Омск, Ростов-на-Дону, Казань и др.

Наиболее подтопляемыми являются территории, сложенные слабопроницаемыми, фильтрационно-анизотропными глинистыми грунтами,

со слабо развитой эрозионной сетью и неглубоким залеганием водоупорных слоев. Скорость повышения уровня грунтовых вод на таких территориях в первые 10 лет может достигать 0,5–1,0 м в год, иногда 3–4 м в год, а в отдельных случаях аварийного замачивания и более 1,0 м в месяц (территория завода «Атоммаш» в г. Волгодонске).

Наименьшая опасность подтопления существует на территориях с глубоким залеганием грунтовых вод, при наличии хорошо водопроницаемых грунтов и застроенных предприятиями с сухим технологическим режимом. На этих участках скорость подъема уровня подземных вод обычно не превышает 0,1–0,2 м в год.

В зависимости от характера развития подтопления по территории выделяют **локальное подтопление** (отдельные здания и сооружения) и **площадное**.

Подтопление может развиваться по различным схемам, но во всех случаях оно возникает благодаря добавочной («излишней») инфильтрации воды, т. е. при превышении приходных статей водного баланса над расходными. Схема 1 — подтопление развивается благодаря задержке добавочной воды в зоне аэрации на линзах водонепроницаемых грунтов; схема 2 — вследствие подъема уровня грунтовых вод и образования купола, который постепенно будет подниматься и подпитывать водоносный горизонт (рис. 27.9); схема 3 — вследствие формирования техногенного водоносного горизонта в первоначально сухих грунтах.

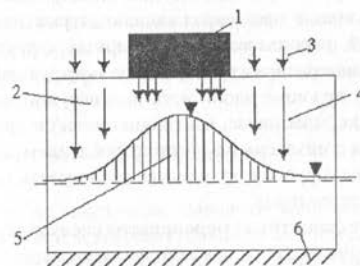


Рис. 27.9. Схема формирования купола подземных вод:

1 — предприятие-водопотребитель; 2 — водопроницаемые грунты; 3 — атмосферные осадки; 4 — инфильтрация воды; 5 — купол подземных вод; 6 — водоупорные породы

Инженерно-геологические изыскания в районах развития подтопления в дополнение к обычному составу работ должны, согласно СП 11-105-97, ч. II, обеспечивать:

- изучение и оценку гидрогеологических условий территории;
- выявление источников подтопления;
- выполнение прогноза изменения гидрогеологических условий;
- получение необходимых параметров для обоснования проектных решений по организации инженерной защиты от подтопления;
- разработку рекомендаций по организации мониторинга подземных вод.

Особое внимание уделяют прогнозу подтопления с оценкой степени потенциальной подтопляемости территории. Прогноз основан на использовании методов аналогии, аналитического и численного моделирования.

Мероприятия и сооружения для защиты от подтопления. Их подразделяют на профилактические (предупредительные) и инженерные (защитные).

Профилактические меры должны предшествовать новому строительству на всех потенциально подтопляемых (по прогнозу) территориях. В состав этих мер входят: регулирование стока поверхностных вод, предупреждение утечек из водонесущих коммуникаций (прокладка их в полупроходных и проходных каналах, герметизация стыковых соединений труб, использование полимерных и других коррозионно-устойчивых материалов трубопроводов и др.), профилактические дренажи (сопутствующие вдоль всех водонесущих коммуникаций, перехватывающие, пластовые, вентиляционные) и другие меры.

Предприятия с интенсивным водопотреблением, а также поверхностные водоемы, пруды и др. следует располагать ниже по уклону от застроенных территорий.

Инженерные (защитные) мероприятия следует осуществлять как в период строительства, так и при эксплуатации зданий и сооружений. Главенствующее значение среди защитных мер занимают различные дренажи (горизонтальные, вертикальные, лучевые, комбинированные и др.), а также строительное водопонижение, противифльтрационные устройства (экраны и завесы для барража подтопления со стороны рек

и водоемов, гидроизоляция для защиты подземных частей зданий и сооружений и др.).

В проектах защитных мероприятий от подтопления следует предусматривать организацию мониторинга (наблюдений) за режимом подземных вод и, в первую очередь, за подъемом уровня грунтовых вод на потенциально подтопляемых территориях (с учетом критического положения уровня).

Глава 28. СКЛОНОВЫЕ (ГРАВИТАЦИОННЫЕ) ПРОЦЕССЫ

Одной из важнейших задач инженерно-геологических изысканий практически для всех видов строительства является оценка устойчивости склонов, бортов карьеров, строительных выемок и разработка мероприятий по их закреплению.

Из строительной практики хорошо известно, что под действием ряда причин значительные массы горных пород, слагающих склон, могут терять устойчивость и смещаться вниз на более низкий уровень. Возникают такие опасные геологические процессы, как оползни, обвалы, осыпи, а при смещении и обрушении снеговых масс — снежные лавины.

Склоновые (гравитационные) процессы могут быть причиной значительных деформаций зданий, сооружений и инженерных коммуникаций, а в ряде случаев и полного их разрушения.

§ 1. Оползни

Оползни — это скользящее смещение масс горных пород вниз по склону под действием гравитационных сил и при активном участии поверхностных и подземных вод. В отличие от обвалов потери контакта между смещающейся массой и подстилающими неподвижными породами не происходит. Под оползнем понимают не только процесс смещения земляных масс, но и само оползневое тело, как форму рельефа.

Оползни не только нарушают устойчивость массивов горных пород, но и негативно влияют на многие другие компоненты геологической среды (нарушение поверхностного стока, истощение ресурсов подземных вод при их вскрытии, образование заболоченностей, нарушение почвенного покрова и др.).

В некоторых случаях оползни могут иметь грандиозные размеры и приводить к катастрофическим последствиям. Так, например, широкую известность получил оползень, возникший 9 октября 1963 г. на севере Италии в провинции Вайонт. Оползень сместился в водохранилище и вызвал волну высотой 165 м, которая перелилась через плотину и повлекла за собой гибель более 2000 человек.

Крупнейший за историческое время Усойский оползень — обвал, образовавшийся в горном Таджикистане в 1911 г., имел объем более 2,2 км³. Сместившись вниз, он перегородил долину р. Мургаб, что привело к образованию Сарезского озера глубиной более 500 м и протяженностью около 60 км.

В России оползни имеют очень широкое распространение. Они частое явление на берегах Волги, Дона, Оки, Кубани и других рек, на Черноморском побережье Кавказа, во многих районах Сибири и Дальнего Востока. Районы классического распространения оползней — территории приволжских городов: Нижний Новгород, Саратов, Волгоград, Ульяновск, участок побережья моря от г. Сочи до г. Сухуми и др.

На территории г. Ставрополя, по данным Центра государственного мониторинга геологической среды (ГМГС), в настоящее время существует 395 современных оползней общей площадью более 13,1 км², в том числе 133 оползня в районе Сенгелеевского водозабора — единственного источника водоснабжения города.

На побережьях северных и дальневосточных морей некоторые оползни достигают в длину 5–7 км при ширине до 3–4 км с амплитудой смещения до 100 м (Охотское побережье и др.) (Шешеня, 2003).

Причины образования оползней могут быть естественными (природными) и техногенными (связанными с деятельностью человека). К основным причинам возникновения оползней относят:

— изменение внешней формы и высоты склона, приводящее к перераспределению сдвигающих и удерживающих сил на нем (подрезка склонов искусственными выемками, колебания базисов эрозии рек, оврагов, подмыв берегового склона рекой или морем, чрезмерно крутое заложение откоса выемок и насыпей и др.);

- изменение состава, состояния и физико-механических свойств горных пород (чрезмерное увлажнение их подземными, дождевыми, тальми и хозяйственными водами, выветривание, выщелачивание из них водорастворимых солей, мерзлотные воздействия, суффозионный вынос тонких частиц и др.);
- дополнительное давление на склон (сейсмические воздействия, вибрация, искусственные статические и динамические нагрузки, гидродинамическое давление при фильтрации подземных вод в сторону склона и др. (рис. 28.1)).



Рис. 28.1. Антропогенный оползень в районе г. Кисловодска

В зависимости от конкретных инженерно-геологических условий оползни могут возникать не только вследствие одной из указанных причин, но и от их сочетания, что наблюдается наиболее часто. Главным же условием возникновения и развития оползней является чрезмерное увлажнение склона поверхностными и подземными водами.

Морфология, строение и классификация оползней. В строении оползня различают следующие основные морфологические элементы (рис. 28.2): 1) **оползневое тело** — массив оползших пород; 2) **бровку отрыва** — дугообразную линию, где произошел отрыв оползневого тела; 3) **стенку отрыва** — поверхность, по которой оползень отделился от массива пород; 4) **поверхность скольжения** (ложе оползня); 5) **вал выпучивания** — возвышение в основании склона, разбитое трещинами; 6) **язык оползня** — нижняя часть оползня.

Оползни, располагающиеся на разных уровнях на одном участке, называются **многоярусными**. При последовательных смещениях масс горных пород образуются **ступенчатые оползни** (рис. 28.2).

Глубиной оползания (или глубиной захвата) считается расстояние от верхней поверхности оползня до поверхности скольжения. Выемка на склоне, образовавшаяся после смещения оползневого тела и имеющая форму амфитеатра, называется **оползневым цирком**.

Оползни по своему строению, морфологии и стадиям историко-геологического развития отличаются большим разнообразием. Существует достаточно большое количество признаков, по которым классифицируются оползни. Их выделение необходимо при общей инженерно-геологической оценке оползнеопасных районов и выборе противооползневых мероприятий.

Приводим некоторые из этих классификационных признаков.

По морфологическому облику оползневые смещения подразделяют на четыре типа: 1) собственно оползни — скольжение земляных масс с захватом глубоких зон; 2) оползни-обвалы — смещения рыхлых или скальных пород, с опрокидыванием и раскалыванием в верхней части склона; 3) осовы — смещение переувлажненных продуктов выветривания; 4) оплывины — смещение маломощного (до 1 м) грязеподобного слоя почвы.

По механизму смещения пород различают оползни: сдвига (скольжения), в том числе инсеквентные (срезающие) и консеквентные (соскальзывающие), оползни выдавливания, вязкопластические

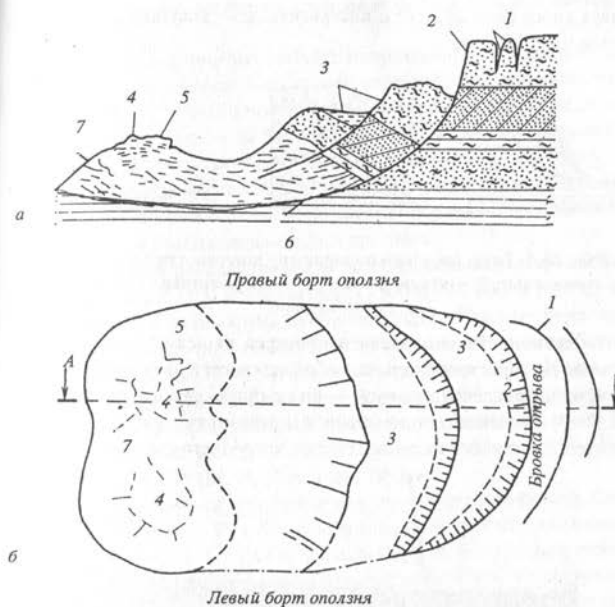


Рис. 28.2. Ступенчатый оползень в разрезе (а) и плане (б): 1 — бровка отрыва; 2 — стенка отрыва; 3 — оползневые тела; 4 — вали выпучивания; 5 — трещины; 6 — поверхность скольжения; 7 — язык оползня

(оползни-потоки и оплывины), гидродинамического разрушения (суффозионные и гидродинамического выпора) и внезапного разжижения (при техногенном сотрясении или при сейсмических толчках).

По характеру поверхности скольжения выделяют оползни (по Ф. П. Саваренскому): асеквентные, которые развиваются в однородных породах и имеют криволинейную цилиндрическую поверхность скольжения (рис. 28.3, а), консеквентные — смещающиеся по контак-

ту двух слоев (рис. 28.3, б) и инсеквентные — секущие слои разного состава (рис. 28.3, в).

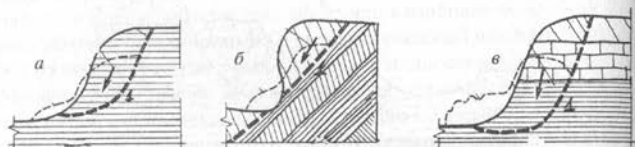


Рис. 28.3. Типы оползней по характеру поверхности скольжения: а — асеквентные; б — консеквентные; в — инсеквентные; I — поверхность скольжения

По активности оползневой процесса выделяют действующие (наличие свежих стенок отрыва, заболаченностей, беспорядочная бугристость, искривление деревьев — «пьяный лес», наклон столбов и др.) (рис. 28.4) и недействующие (стабилизированные) оползни, покрытые растительностью без видимых следов последнего смещения.



Рис. 28.4. Оползневой склон (правобережье р. Дон)

По условиям образования различают природные оползневые процессы на склонах гор, речных долин, берегах морей, водохранилищ и техногенные оползни, вызванные деятельностью человека (подрезка

склонов, нагрузки, вибрация, смещения бортов крупных карьеров и разрезов и др.).

По скорости смещения оползни подразделяют на медленно оползающие (скорость может быть от крайне медленной — несколько сантиметров в год, такие оползни называют криппами) до 1,0–1,5 м/год, быстро оползающие — до 5–10 м/сут и мгновенно соскальзывающие (более 3 м/с). Большинство оползней смещаются медленно, и за ними ведут постоянные наблюдения с помощью глубинных реперов. Борьба с мгновенно соскальзывающими оползнями возможна лишь при условии их заблаговременного прогноза.

По площади распространения оползни сильно варьируют: от небольших (менее 2500 м²) и средних (2500 м²–10 000 м²) до крупных (до 20 000 м²) и очень крупных (более 20 000 м²); по глубине захвата различают оползни поверхностные (глубина менее 3 м), неглубокие (до 10 м), глубокие (до 20 м) и очень глубокие (более 20 м). Например, в долине р. Москва (Воробьевы горы, Серебряный бор, Поклонная гора и др.) выявлены очень глубокие оползни с глубиной захвата до 100 м и площадью более 0,8 км². Развита они на склонах высотой 15–70 м и крутизной 9–17° (М. Н. Парещкая, 1997).

Принципы оценки устойчивости оползнеопасного склона. Согласно СП 11-105-97, ч. II, к оползнеопасным следует относить склоны, на которых происходят или происходили ранее оползневые процессы. К потенциально оползнеопасным относят склоны, на которых возможно развитие указанных процессов при воздействии природных и техногенных факторов.

Степень устойчивости склона определяется соотношением суммы удерживающих сил ΣR (сцепление, внутреннее трение) и суммы сил, стремящихся сдвинуть массу пород вниз по склону, — ΣQ (вес, масса пород, их влажность и плотность, вес зданий и сооружений, расположенных на склоне, гидродинамическое давление подземных вод и др.).

Отношение этих сил определяет коэффициент устойчивости склона η , и в зависимости от величины η различают три состояния его устойчивости:

- 1) $\eta > 1$, т. е. $\Sigma R > \Sigma Q$ — склон устойчив;
- 2) $\eta < 1$, т. е. $\Sigma R < \Sigma Q$ — склон неустойчив, возможен оползень;

3) $\eta = 1$, т. е. $\Sigma R = \Sigma Q$ — склон находится в состоянии предельного равновесия.

На данном принципе соотношения сдвигающих и удерживающих сил основываются многочисленные способы прогноза устойчивости склонов (или откосов): сравнительно-геологические (метод аналогий), расчетные методы К. Терцаги, Н. Н. Маслова и др., экспериментально-расчетные и экспериментальные (на моделях).

В практике строительного проектирования для расчета устойчивости склона обычно используют следующее уравнение предельного равновесия для склонов:

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

где ΣT — сумма сдвигающих сил; ΣN — сумма нормальных сил; l — длина поверхности скольжения оползня; c — удельное сцепление грунта, МПа; φ — угол внутреннего трения, град.

Устойчивость склона определяется коэффициентом запаса устойчивости ($K_{\text{уст}}$), определяемым по формуле:

$$K_{\text{уст}} = \frac{\Sigma N \operatorname{tg} \varphi + cl}{\Sigma T}.$$

При $K_{\text{уст}} = 1$ склон находится в состоянии предельного равновесия, при $K_{\text{уст}} > 1$ — в устойчивом состоянии, а при $K_{\text{уст}} < 1$ — в неустойчивом состоянии и начинает смещаться.

Достоверный прогноз устойчивости оползневого склона может быть сделан лишь после детальных инженерно-геологических исследований, включающих изучение геолого-гидрогеологических, геоморфологических и сейсмических особенностей района строительства, состава, состояния и свойств пород, стационарные наблюдения за оползневыми подвижками (по поверхностным и глубинным реперам) и режимом подземных вод, обследование имеющихся деформаций зданий и сооружений, поиски аналогов оползней на прилегающей территории с установлением их причин и др.

На основании полученных материалов исследований составляют краткосрочные и долгосрочные прогнозы устойчивости склонов.

Противооползневые сооружения и мероприятия. Оползни представляют собой сложный процесс, зависящий от многих факторов, поэтому борьба с ними должна быть комплексной. По своему характеру противооползневые мероприятия подразделяют на профилактические и активные (инженерные). Основное требование к комплексу противооползневых мероприятий сводится к необходимости обеспечить коэффициент устойчивости склона не ниже заданного его значения на заданный срок для всех возможных видов его устойчивости.

Профилактические (или охранно-ограничительные) мероприятия имеют своей целью: регулирование поверхностного стока с целью предотвращения излишнего увлажнения склона (различные нагорные каналы, лотки, валы, устройство водоотводящей сети); укрепление склонов и откосов с помощью агросемелиоративных мероприятий (одерновка, посев трав, посадка специальных сортов деревьев и кустарников); предотвращение подрезки склонов; запрещение производства взрывных работ и устройства отвалов вблизи оползневых участков; ограничение скорости движения поездов на оползнеопасных склонах и т. д.

Строительная практика показывает, что своевременно принятые профилактические меры позволяют предотвратить большую часть оползней в начальной стадии их развития.

Активные меры — это устройство инженерных сооружений и применение других радикальных мер, с целью устранения причин, вызывающих оползневые процессы. Активные меры можно разделить на следующие группы: 1) изменение очертания и переустройство склонов и откосов (уплоаживание склона путем срезки верхней его части и уменьшения крутизны), отсыпка банкетов и контрбанкетов, террасирование и устройство берм и др.); 2) механическое удержание оползающих земляных масс (подпорные стены — рис. 28.5), свайные ряды, сваи-шпонки, контрфорсы и др. Эффективны подпорные стены из монолитного железобетона, основанием которых служат буронабивные сваи диаметром до 1,5 м и длиной до 10 м. Буронабивные сваи объединяют между собой монолитным железобетонным ростверком, на котором и устраивают подпорные стены; 3) защита берегов от абразии, переработки в результате волнового воздействия (берегоукрепление, устройство поперечных бун, волноломов и дру-

гих защитных сооружений, предотвращающих подмыв склонов); 4) дренирование прилегающей территории и тела оползня (постоянное осушение и снижение уровня, перехват подземных вод до их выклинивания на склоне с помощью трубчатых и галерейных дренажей и др.); 5) закрепление грунтов методами технической мелиорации (цементация, силикатизация, термический обжиг, электрохимический и другие способы). Цель этих работ — увеличение сопротивления пород сдвигающим усилиям.

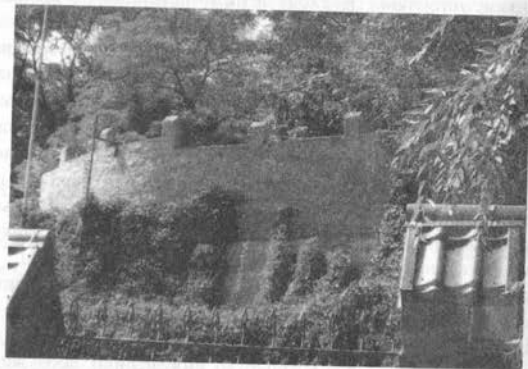


Рис. 28.5. Подпорная стена для механического удержания оползающих земляных масс

§ 2. Обвалы и осыпи

Обвалы — внезапное обрушение крупных масс горных пород с опрокидыванием и дроблением в результате отрыва от коренного массива. Обвальные накопления у подножья крутых и обрывистых склонов представляют собой беспорядочное нагромождение глыб, щебня, дресвы с неоднородным песчано-глинистым заполнителем.

Обвалы — частое явление практически во всех горных странах. Особенно широко они развиты в высокогорных областях с высокой

сейсмической и повышенной тектонической активностью. В России обвалы происходят преимущественно в горных районах Кавказа, Сибири, Дальнего Востока, на Урале, Хибинах и др. Они могут возникать и на крутых (более 45°) склонах речных долин и морских побережий, а также в бортах карьеров и строительных выемок. Разновидностью обвала являются вывалы (камнепады) — обрушение отдельных глыб скальных пород с отвесных склонов и откосов выемок (рис. 28.6).

Обвалы приурочены к самым разнообразным породам — от скальных до рыхлых обломочных. Объем обвальных накоплений может колебаться от небольшого (до 100 м^3) до грандиозного (более 1 млн м^3). Объемы крупнейших в мире обвалов превосходят многие миллионы кубометров горных пород.

На участках возможного развития обвалов создается постоянная угроза для безопасности людей и нормальной эксплуатации сооружений. Наибольший ущерб обвалы наносят различным линейным сооружениям, в первую очередь автомобильным и железным дорогам. Так, например, только за 5 лет наблюдений на Закавказской железной дороге произошло 428 горных обвалов, в результате чего пришлось убирать с полотна дороги более $3,5 \text{ млн м}^3$ горных пород.



Рис. 28.6. Вывалы глыб (камнепад) на автомобильную дорогу

Обвалы нередко запруживают реки, образуя глубокие высокогорные озера, например, озеро Рица на Кавказе и Сарезское озеро на Памире.

Главнейшей предпосылкой развития обвала является достаточная крутизна склона или борта карьера. На пологих склонах обвалы, как известно, не образуются. Основные причины обвалообразования связаны с ослаблением внутренних связей и сил внутреннего сцепления под воздействием выветривания, увлажнения, подмыва, а также сейсмических толчков, взрывных работ и других факторов.

Предвестниками обвалов служат вывалы отдельных глыб (камнепад) (см. рис. 28.6), периодически повторяющийся треск, расширение существующих и появление новых трещин, появление родников, мочажин и др. При инженерно-геологических изысканиях обвалоопасных районов этим признакам уделяют достаточное внимание, так как они позволяют выделить потенциально неустойчивые участки склонов.

Детальному инженерно-геологическому изучению подвергают рельеф склонов (наличие выступов, нависающих блоков), условия залегания горных пород, степень их трещиноватости и выветрелости, тектонические нарушения и другие особенности.

Потенциальную разрушающую силу обвалов (P) определяют по формуле:

$$P = \frac{mV^2}{2},$$

где m — предполагаемая масса обрушившихся пород; V — скорость их перемещения, оцениваемая по формуле $V = \sqrt{2g \cdot H}$, где H — высота склона (откоса); g — ускорение свободного падения.

Как показывает строительная практика, при высоте склона (откоса) более 10–15 м обвалы представляют серьезную угрозу для инженерных сооружений.

Борьба с обвалами, особенно крупными, представляет сложную задачу. Строительство на обвалоопасных участках очень опасно и требует применения как профилактических, так и инженерных мер защиты.

Профилактические (или охранно-ограничительные) мероприятия включают запрещение в обвалоопасных районах производства зем-

ляных и особенно взрывных работ, запрещение неорганизованного сброса поверхностных вод, искусственного обрушения выступов и нависающих блоков скальных пород с помощью динамитных зарядов малой мощности (неверно рассчитанный по силе взрыв может сам вызвать крупный обвал). Для предупреждения обвалов и камнепадов применяют также тампонаж и цементацию трещиноватых пород, покрытие откосов металлической сеткой и т. д. На отдельных участках эти работы производят с помощью альпинистов. Необходима организация специальной службы наблюдения и контроля за устойчивостью обвалоопасных склонов и своевременное оповещение с целью предупреждения аварий.

К **инженерным мероприятиям** относят строительство тоннелей и противообвальных галерей для обеспечения безопасности дорожного движения, устройство различных подпорных и облицовочных стен, контрфорсов и др. (рис. 28.7, по М. В. Седенко).

В особо сложных инженерно-геологических условиях целесообразно проектирование новой трассы дороги в обход обвалоопасного участка.

Осыпи — геологический процесс, связанный с гравитационным перемещением вниз по склону мелких обломков, образующихся при физическом выветривании горных пород. Под термином «осыпи» понимают также: 1) скопление массы мелкообломочного и песчано-глинистого материала и 2) пологовыпуклые формы рельефа у подножия склона. При насыщении осыпей водой их называют **осовами**.

Мощность осыпей различна: от нескольких метров на склонах до десятков метров у подножий в зоне накопления. В этой части горного склона осыпи нередко смыкаются со смежными осыпями, образуя шлейф значительной мощности и протяженности.

На участках развития осыпей выделяют области питания, перемещения и накопления мелкообломочного и рыхлого песчано-глинистого материала. Скорость движения осыпей незначительна: от нескольких сантиметров до 0,5–0,8 м в год. Осыпание происходит постепенно по мере выветривания пород, слагающих верхнюю часть склона (область питания осыпи) (рис. 28.8).

Основные условия развития осыпей: крутизна склонов ($> 30^\circ$) и наличие легковыветривающихся горных пород. Характерной особен-

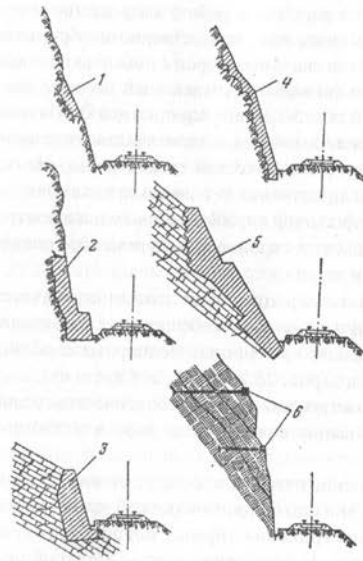


Рис. 28.7. Виды противообвальных сооружений:

- 1 — заделка вывала; 2 — поддерживающая стена; 3 — подпорная стена;
4 — облицовочная стена; 5 — контрфорс; 6 — анкеровка неустойчивых
пластов

ностью осыпей является их подвижность. Предложен коэффициент подвижности (K_n) осыпей, который определяют по формуле:

$$K_n = \frac{a}{\varphi},$$

где a — угол поверхности осыпи с горизонтом; φ — угол естественного откоса материала осыпи.



Рис. 28.8. Осыпь (Горный Алтай)

В зависимости от величины K_n осыпи подразделяют на подвижные («живые») ($K_n > 1,0$), достаточно подвижные ($K_n = 0,7-1,0$), слабоподвижные или затухающие ($K_n = 0,5-0,7$) и относительно неподвижные ($K_n < 0,5$).

Первые два типа осыпей относят к действующим. Обычно это рыхлая, неуплотнившаяся масса обломков, характерная для склонов крутизной более 45° (рис. 28.9). На затухающих уплотненных осыпях начинает развиваться растительность. Относительно неподвижные осыпи полностью задернованы, покрыты кустарниковой растительностью или залесены.

Подвижность осыпей может увеличиться (или возобновиться) при сейсмических толчках, подрезке или подмыве нижней части склона, при динамических воздействиях в ходе строительных работ и т. д.

В процессе инженерно-геологических изысканий в районах развития осыпей изучают геолого-гидрогеологические условия, форму и крутизну склона, состав, состояние и физико-механические свойства коренных пород и коллювия, т. е. пород, которые образуются при формировании осыпей, и др.

Для предотвращения осыпей следует применять различные защитные меры: в качестве профилактики — посадка растительности для снижения интенсивности выветривания, расчистка малых осыпей,

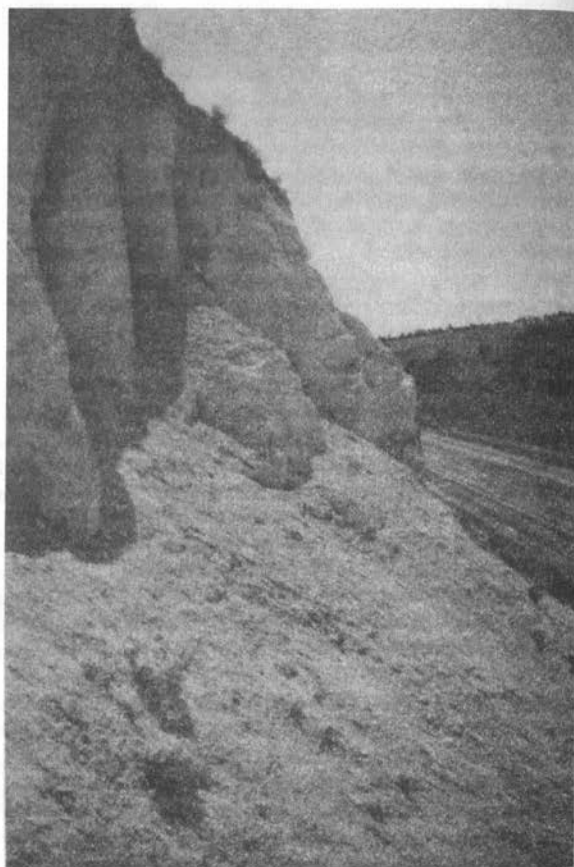


Рис. 28.9. Осыпь в меловых отложениях рядом с автомобильной дорогой (север Ростовской области)

запрещение подрезки склонов, а также динамических воздействий в ходе строительных работ, планировочные работы, закрепление склонов фашинами, накидными сетками и др.

Инженерные мероприятия применяют для защиты от засыпания горных шоссейных дорог и других сооружений. В состав этих работ входят: строительство в нижней части склонов контрфорсов и подпорных стен, террасирование склонов, устройство дренажей, лотков и труб для отвода воды, возведение защитных козырьков над дорогами, галерей и др.

§ 3. Снежные лавины

Снежными лавинами называют внезапные обрушения больших масс снега, падающих или соскальзывающих с горных склонов. Особенно характерны они для высокогорных районов с резко контрастным рельефом.

В лавинах объемом около 50–100 тыс. м³ пропитанный водой снег весит более 40–80 тыс. т, поэтому разрушительная ударная сила их при сходе со склона весьма значительна.

В России снежные лавины возникают в горных районах Кавказа, Алтая, Урала, Восточной Сибири, Дальнего Востока, на Кольском полуострове и островах Северного Ледовитого океана. В мире классическими лавиноопасными районами являются Альпы, особенно Швейцарские Альпы, Кордильеры, Тибетско-Гималайская система, Тянь-Шань, Скандинавские горы. Здесь в наиболее активных лавинных районах сходят до 5–10 лавин в год.

В результате схода лавин гибнут люди, разрушаются здания, железные и автомобильные дороги, линии электропередач и т. д. Величайшая в мире «лавинная» катастрофа произошла 31 мая 1970 г. в Кордильеро-Бланке в долине р. Санта (Перу). Гигантская снежная лавина со льдом и обломками пород общим объемом более 50 млн м³ прошла по долине почти 17 км со скоростью более 300 км/ч. По пути движения снежной лавины практически были разрушены г. Юнгай и пос. Ранаирка, погибло около 20 тыс. жителей.

Основными причинами возникновения снежных лавин являются: длительные и обильные снегопады и метели (70% всех лавин обусловлены снегопадами), перекристаллизация снега, продолжительные

дожди в горах, весеннее снеготаяние и др. Крутизна склонов при этом должна быть не менее 20° и не более 45° , так как на более крутых склонах снег не задерживается. Причиной развития снежных лавин в горных районах Камчатки и Сахалина могут быть циклоны, а в сейсмических районах — сильные землетрясения.

По характеру движения различают **лотковые лавины** (движение по ложбинам и другим углублениям на склоне), **склоновые** (отрыв и движение по всей поверхности склона) и **прыгающие** лавины (свободное падение с отвесных участков склонов). Участок склона, на котором образуется, движется и останавливается лавина, называют лавиносором. В его структуре выделяют три зоны: питания, транзита и накопления (конус выноса).

Лавины подразделяют также на **сухие**, в виде распыленного тела (рис. 28.10) и **мокрые** (в виде сплошного тела). Скорость движения сухих лавин достигает 400 км/ч. Именно они обладают наибольшим разрушительным действием — ломают стволы деревьев, деформируют каменные сооружения и т. д. Перед фронтом сухих лавин идет воздушная волна, вызываемая их падением и обладающая весьма значительной ударной



Рис. 28.10. Снежная лавина (сухая)

силой. Лавины мокрые — сползающие массы влажного тающего снега, движутся медленнее и производят меньшее разрушение.

При инженерно-геологических изысканиях в горных районах определяют лавиноопасные участки, устанавливают границы и пути схода лавин, их повторяемость, сроки начала и окончания лавиноопасного периода, прогнозируют устойчивость масс снега на склоне.

Для инженерной защиты территории, зданий и сооружений от снежных лавин, согласно СНиП 22-02-2003, применяют профилактические и инженерные мероприятия (лавинопредотвращающие и лавинозащитные).

К **профилактическим мерам** относят террасирование склонов и посадку деревьев (залесение склонов), регулируемый (профилактический) спуск лавин путем взрывов, обстрела горных склонов в малонаселенных районах, подпиливания снежных карнизов и др.

Инженерные мероприятия включают создание лавинопредотвращающих (заборов, стен, щитов, решеток, снеговыдувающих панелей и др.) и лавинозащитных сооружений для торможения или остановки лавины (дамбы, надолбы, траншеи и др.) и для пропуска лавин над объектом или под ним (галереи, эстакады, навесы и др.) (рис. 28.11).

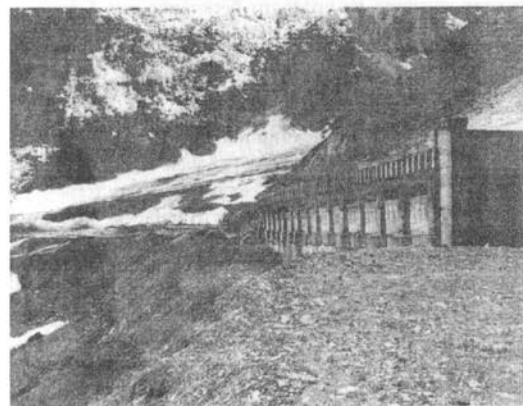


Рис. 28.11. Галерея для защиты автомобильной дороги от снежной лавины

В лавиноопасных районах следует создавать специальные службы наблюдения, прогноза и оповещения. По их данным может быть прекращен доступ людей в лавиноопасные зоны на время спуска лавин и в необходимых случаях организована эвакуация людей.

Глава 29. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЙОНАХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

§ 1. Криогенные (мерзлотные) процессы

В последние десятилетия в России в сферу строительного освоения в районах многолетней мерзлоты вовлекаются все новые и новые территории: север Западной Сибири, шельф арктических морей с газовыми месторождениями, земли Нерюнгринского месторождения и др.

Вторжение человека не проходит бесследно для «хрупкой» природной обстановки Севера: разрушается почвенно-растительный слой, изменяется рельеф, режим снегового покрова, возникают болота. В значительной степени эти изменения обусловлены развитием **криогенных (мерзлотных) процессов**: морозного пучения, наледообразования, термокарста, солифлюкции и др.

Распространены они не только в районах Крайнего Севера, но на всей территории нашей страны, занятой многолетнемерзлыми (вечномерзлыми) грунтами, а морозное пучение — и вне зоны их распространения.

Морозное (криогенное) пучение — это увеличение объема водонасыщенных дисперсных пород при льдовыделении в них. Причина морозного пучения заключается в сезонном и многолетнем промерзании горных пород. При переходе воды в лед объемное расширение породы достигает 8%.

Способность грунта к морозному пучению выражается величиной относительной деформации морозного пучения ε_{fn} , д. е., которая определяется по формуле:

$$\varepsilon_{fn} = \frac{h_{of} - h_0}{h_0},$$

где h_{of} — высота образца грунта после промерзания; h_0 — начальная высота образца талого грунта до промерзания.

Согласно ГОСТ 25100–95, пучинистый грунт — это дисперсный грунт, который при переходе из талого в мерзлое состояние увеличивается в объеме вследствие образования кристаллов льда и имеет относительную деформацию морозного пучения $\varepsilon_{fn} \geq 0,01$.

При значениях $\varepsilon_{fn} = 0,01–0,035$ грунт считается слабопучинистым, $\varepsilon_{fn} = 0,035–0,07$ — среднепучинистым и при $\varepsilon_{fn} > 0,07$ — сильнопучинистым.

Развитие морозного пучения определяется следующими условиями: 1) наличие водонасыщенных дисперсных грунтов (глинистых, песчаных либо крупнообломочных с песчано-глинистым заполнителем); 2) глубокое сезонное промерзание грунтов и 3) близкое залегание от поверхности земли грунтовых вод. На интенсивность морозного пучения влияют также состав, состояние, водно-физические и теплофизические свойства грунтов и другие факторы.

Внешне морозное пучение выражается в локальном поднятии поверхности земли в виде пучин — небольших вздутиях и бугров высотой 0,2–0,6 м и длиной от нескольких метров до 10–12 м. Образование пучин представляет опасность для легких малоэтажных зданий, дорог, трубопроводов, аэродромов и других сооружений. Проявляется оно в виде деформаций различных сооружений, выпучивании столбов, реперов, свай и др.

Для предупреждения этих явлений глубина заложения фундаментов должна быть не меньше расчетной глубины сезонного промерзания. Следует предусматривать также дренирование пучинистых грунтов с помощью канав, лотков, труб, замену их на непучинистые, гравийно-галечные и щебенистые, засыпки для уменьшения сил смерзания пород с фундаментом, проектировать сооружения на столбчатых и свайных фундаментах и др.

Особую форму морозного пучения в районах многолетней мерзлоты представляют достаточно крупные формы рельефа — так называемые **бугры пучения**. Образуются они при промерзании талых

водоносных пород, подпитываемых снизу напорными межмерзлотными и подмерзлотными водами. Рост бугров пучения, а их высота достигает 30–60 м, может продолжаться в течение многих лет. В Канаде их называют «пинго», в Якутии — «булгунями» (рис. 29.1). Льдистое ядро, которое находится в центре бугра пучения на стадии его старения, протаивает, и тогда на его месте образуется озеро.



Рис. 29.1. Бугор пучения (булгуния). В 75 км к западу от г. Якутска (фото Т. Певе)

Наледи — ледяные тела различных форм и размеров, возникающие в результате многократного излияния на поверхность и замерзания поверхностных (речных, озерных, техногенных) или подземных вод.

Речные наледи образуются при резком сужении на отдельных участках реки ее живого сечения вследствие зимнего промерзания. В результате создается значительный гидростатический напор, и речные воды, по трещинам и другим ослабленным зонам взламывая лед, выходят на поверхность и замерзают в виде ледяного тела. После многократных излияний и замерзания толщина речной наледи может составлять 3–4 м и более.

Наледи подземных вод связаны с промерзанием водоносных пород, прорывом подземных вод и излиянием их на поверхность земли. Огромные наледи площадью в десятки квадратных километров образуются в Якутии за счет выхода на поверхность и замерзания зимой вод из крупных карстовых источников.

Наледи как поверхностных, так и подземных вод широко развиты в районах многолетней мерзлоты. Только в Верхоянско-Колымской горно-складчатой зоне насчитывается до 10 тыс. наледей общей площадью свыше 8 тыс. км² (рис. 29.2). Наиболее крупная наледь — Большая Мамская в Якутии, ее площадь достигает 80 км², а объем — около 200 млн м³.



Рис. 29.2. Большая наледь в пределах Алданского нагорья (фото С.Н. Булдовича)

Наледообразование представляет серьезную угрозу для различных сооружений, в первую очередь, автомобильных и железных дорог, мостовых переходов, линий связи, ЛЭП и др. Наледи могут образовываться и под холодными зданиями или внутри их. Нередко они заполняют кюветы, лотки, поверхностные водоводы, вызывая летом затопление территории. Речные наледи значительно осложняют движение транспорта по льду рек — основным дорогам в зимний период.

Для борьбы с наледями следует применять комплексные методы защиты, а именно: сооружения для свободного пропуска наледей

через зону защищаемого сооружения, спрямление и углубление русла, перехват и отвод подземных вод с помощью дренажных систем, устройство мерзлотных поясов, состоящих из комбинации канавы и противоналедного вала выше наледи. При этом канава обеспечивает промерзание грунта до водоупора (до появления наледи), а вал непосредственно задерживает наледь.

В некоторых случаях целесообразен перенос сооружений или трасс земляного полотна дороги в обход участков потенциального наледообразования. Все проектные решения должны приниматься на основе детальных инженерно-геологических и мерзлотных изысканий.

Термокарст — процесс оттаивания залежей подземного льда и льдистых грунтов, сопровождающийся их осадкой и образованием отрицательных форм рельефа — котловин, западин, воронок и др. Обычно все эти формы рельефа заполняются водой, образуя термокарстовые озера.

Сходство термокарстовых процессов с карстовыми заключается в том, что в ходе этих процессов образуются крупные подземные пустоты, нередко сопровождаемые оседанием и провалами грунтов. Различие в том, что карст обусловлен растворением известняка, гипса и других растворимых горных пород, а термокарст — вытаяванием подземного льда.

Основными причинами развития термокарста в многолетнемерзлых породах являются общее потепление климата и деградация многолетней мерзлоты, а также инженерно-хозяйственная деятельность человека. Благоприятные условия для развития **техногенного термокарста** создаются при эксплуатации тепловыделяющих сооружений, строительстве нефте- и газопроводов, аэродромов, дорог и др. Быстрому вытаяванию подземного льда и образованию термокарстовых оседаний способствуют срезка почвенно-растительного слоя, вырубка леса и кустарников, устройство выемок и др.

Строительными нормами и правилами при проектировании инженерной защиты от термокарста предусматривается: 1) сохранение почвенно-растительного покрова; 2) отсыпка застраиваемой территории песчаным и гравийно-песчаным грунтом (это основной способ защиты); 3) укладка на поверхности земли теплоизоляционных покрытий; 4) регулирование стока поверхностных вод.

При строительстве зданий и сооружений со значительным тепловыделением следует предусматривать вентилируемые подполья, не допуская оттаивания льдистых грунтов.

Солифлюкция — медленное сплывание оттаивающих многолетнемерзлых пород на пологих склонах. Основная причина развития солифлюкционного процесса — разрушение структурных связей в дисперсных породах и уменьшение их прочности при оттаивании. Оттаивающий слой грунтов текучей консистенции сползает вниз по поверхности твердых мерзлых грунтов со скоростью от нескольких сантиметров до 1–2 м в год. Основные формы проявления этого процесса в рельефе: **солифлюкционные языки, покровы и террасы** (рис. 29.3).

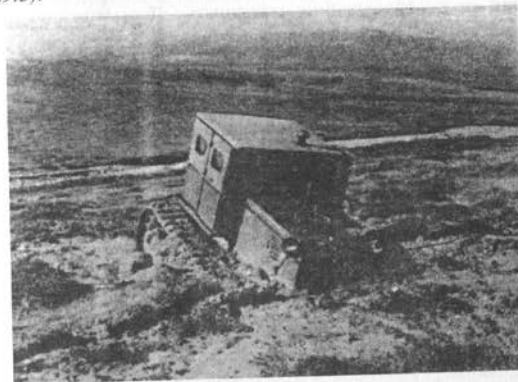


Рис. 29.3. Трактор, застрявший в солифлюкционных отложениях (фото И.С. Комарова)

Солифлюкция наносит значительный вред дорогам, коммуникациям, малозаглубленным опорам и т. д. Меры борьбы: осушение сезонного слоя, посадка кустарников для укрепления склонов, устройство подпорных стен и др.

Курумы — каменные подвижные россыпи на склонах гор, которые образуются под влиянием мерзлотных процессов — выпучивания, сползания, замерзания и т. д. Важнейшее значение в их развитии

имеет один из видов физического выветривания — **морозное выветривание**. В результате выветривания крупные блоки пород (диаметром до 3,5–4,0 м) отторгаются от подстилающих коренных пород и движутся вниз по склону со скоростью от нескольких сантиметров до 1,0–1,5 м в год.

Курумы широко развиты в горных районах Восточной Сибири и в ряде других районов, занимая большую площадь в несколько квадратных километров. В Забайкалье и Южной Якутии на склонах с крутизной более 20° отмечены быстрые (от нескольких минут до нескольких часов) смещения глыбового материала. Однако в большинстве случаев курумы движутся очень медленно по пологим склонам, образуя так называемые каменные реки (потоки) и каменные моря (плащеобразные скопления крупнообломочного материала). Перемещению курумов вниз способствует водонасыщенный глинистый заполнитель, залегающий обычно в их основании.

Медленно спускаясь с гор, курумы затрудняют строительство и эксплуатацию различных сооружений (рис. 29.4. См.: Природные опасности России. Т. 4. М., 2003). Остановить курум весьма затруднительно. Поэтому при строительстве линейных сооружений курумные потоки следует обходить либо преодолевать с помощью мостовых переходов.



Рис. 29.4. Курумные покровы в Северном Забайкалье значительно осложняют строительство и эксплуатацию инженерных сооружений

Среди мерзлотных (криогенных) процессов, связанных с деятельностью поверхностных вод, выделяют также термоабразию берегов морей, озер, водохранилищ и термоэрозию. **Термоабразия** связана с быстрым (до 20 м/год) разрушением и отступанием берегов, сложенных оттаивающими многолетнемерзлыми грунтами. **Термоэрозия** — с тепловым и размывающим действием временных и постоянных водотоков и катастрофически быстрым развитием промоин и оврагов (см. рис. 29.5).

Для предотвращения негативного воздействия этих процессов на различные сооружения следует разрабатывать комплекс специальных противоабразионных и противоэрозионных мероприятий на основе детальных инженерно-геологических и мерзлотных изысканий.

Глава 30. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ВЫЗВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЕМ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

§ 1. Сдвигение горных пород на подрабатываемых территориях

Подрабатываемые территории — это участки земли с наличием крупных подземных пустот, вызванных горнотехнической и строительной деятельностью. Процесс нарушения естественного равновесия вышележащих слоев пород, их деформирование и смещение в сторону выработанного пространства называется сдвигением горных пород.

На поверхности земли этот процесс часто сопровождается образованием чашеобразных впадин — **мульд**. Сдвигение горных пород характеризуется также появлением крупных трещин на поверхности земли, иногда шириной до 2,0 м (Подмосковный угольный бассейн), провальных воронок до 10 м глубиной и других деформаций.

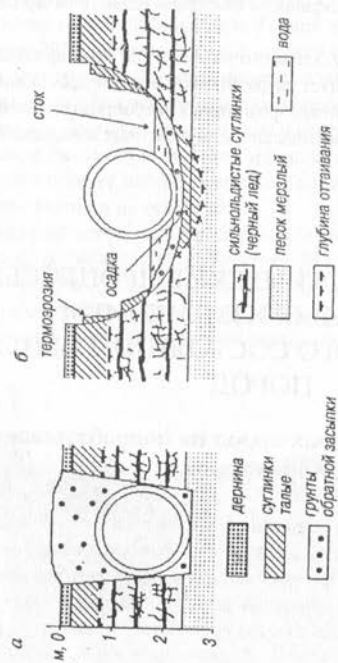


Рис. 29.5. Развитие термоозона при подземной прокладке трубопроводов на многолетнемерзлых грунтах (по Е. И. Шаповой, 1990):

а — первоначальное состояние; б — через 2 года

Оседание земной поверхности в процессе формирования мульд, т.е. корытообразных понижений, размеры которых в плане превышают размеры выработанного пространства, происходит вместе с находящимися на нем сооружениями, что может приводить к их деформациям. В частности, значительные деформации зданий и сооружений фиксируются при образовании мульд вдоль трасс метрополитенов, а также при подземной разработке угольных пластов (рис. 30.1).



Рис. 30.1. Деформация здания на подрабатываемой территории

Размеры зоны опасного влияния подземных выработок, величина и характер деформации, а также продолжительность процесса сдвижения горных пород и оседания земной поверхности зависят от: 1) размеров выработанного пространства; 2) геологических условий — характера чередования состава, строения и свойств горных пород; 3) горнотехнических условий (скорости проходки подземной выработки и выемки отработанного материала, способов крепления кровли) и от других факторов.

В качестве примера рассмотрим сдвижение горных пород при разработке угольных пластов.

При добыче угля вокруг очистной выработки выделяются следующие формы сдвижения: 1) зона обрушения, непосредственно прилегающая к выработанному пространству; 2) зона прогиба напластований толщи пород в сторону выработанного пространства с трещинами и расслоением пород и 3) зона плавного прогиба слоев пород. В случае значительных размеров выработанного пространства эта зона быстро достигает земной поверхности, образуя **мульд оседания (сдвижения)**. Ее возникновение часто сопровождается провалами и другими нарушениями целостности массива горных пород.

Характер развития провальных воронок и других деформаций земной поверхности определяется углом падения, мощностью и глубиной залегания разрабатываемых угольных пластов. В Кузбассе в условиях крутопадающих пластов отмечаются многочисленные провалы, которые тянутся на десятки километров по простиранию пластов. В этих условиях разработка пластов угля даже на глубинах более 400 м может приводить к деформациям сооружений на поверхности земли.

Величина прогиба поверхности земли в пределах мульды оседания неодинакова и колеблется от 0,1 до 0,9 m (где m — мощность разрабатываемого пласта). Максимальное оседание поверхности земли отмечено в Донбассе и составило 2,6 м (Сергеев, 1982). Предполагаемая площадь провалоопасных зон в г. Шахты Ростовской области составляет около 12 км². Общий объем пустот под этим городом превышает 70 млн м³.

Продолжительность процесса сдвижения горных пород и земной поверхности может быть весьма значительной — до многих лет. Процесс сдвижения считается интенсивным, если его скорость превышает 30 мм в месяц (при крутом падении пластов) и 50 мм в месяц при пологом и наклонном залегании. Сдвижение горных пород может происходить не только в период эксплуатации шахты, но и после ее окончания, так как с течением времени несущая способность крепи и пород заметно снижается.

Несколько иной характер развития процесса сдвижения горных пород отмечается вдоль подземных трасс метрополитенов, тоннелей и других подземных линейных сооружений. Геодезические наблюдения за осадками поверхности над трассами метрополите-

нов фиксируют образование линейно вытянутых мульд оседания шириной от 50 до 300 м и глубиной до 1,0 м, в отдельных случаях до нескольких метров. Все они повторяют контуры станций метрополитенов и тоннелей.

Большое влияние на параметры мульд оседания оказывают геологические условия, в частности, трещиноватость и выветрелость горных пород. По данным Е. В. Петренко (1988), осадки над станциями Московского метрополитена, сооруженных в разрушенных известняках карбона, в 1,5–2 раза больше осадок над станциями, расположенными в крепких разностях известняков (120–140 мм против 60–80 мм), ширина мульд оседания больше в 2–2,5 раза (160–180 м против 60–80 м).

Строительство на подрабатываемых территориях. Проектирование и строительство зданий, сооружений и прокладка инженерных коммуникаций на подрабатываемых территориях должна проводиться с применением строительно-конструктивных и горных мер защиты, обеспечивающих сохранение объектов как при строительстве, так и при эксплуатации (СНиП 2.01.09–91 «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах»).

В качестве строительно-конструктивных мер защиты следует применять: 1) планировочные мероприятия; 2) устройство деформационных швов в фундаментах и стенах; 3) повышение прочности несущих конструкций и приспособление их к неравномерным осадкам; 4) укладку трубопроводов на песчаное основание, повышение их податливости за счет применения компенсаторов, вынос трубопроводов на поверхность и др.; 5) использование высококачественных строительных материалов.

В тех случаях, когда применение одних только строительно-конструктивных мер недостаточно для обеспечения надежной эксплуатации подрабатываемых зданий и сооружений, следует, согласно СНиП 2.01.09–91, назначать **горные меры защиты**. В качестве горных мер защиты предусматривают: 1) полную или частичную закладку выработанного пространства; 2) разработку пластов с разрывом во времени и 3) неполную выемку полезных ископаемых по площади и мощности.

§ 2. Оседание земной поверхности под влиянием длительных откачек воды и нефти

В определенных геологических условиях длительный интенсивный отбор подземных вод из недр Земли может привести к значительным вертикальным деформациям поверхности, а точнее, к ее оседанию.

Причина оседания заключается в том, что длительная и интенсивная откачка воды приводит не только к значительному снижению уровня воды и снятию гидростатического напора, но и к увеличению эффективного давления на скелет дисперсного грунта, его уплотнению и, как следствие, к оседанию поверхности земли.

По Р.С. Зиянгирову и С.И. Петренко (1997), при снижении уровня подземных вод внутрипластовое давление на грунт возрастает на величину: $\Delta p = (\gamma_d - \gamma') \cdot h$, где γ_d — удельный вес грунта в зоне водонасыщения; γ' — удельный вес грунта, взвешенного в воде; h — величина снижения уровня подземных вод.

Оседание земной поверхности (δ) при этом определяется по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta p \cdot H}{E},$$

где E — модуль деформации грунта; H — мощность сжимаемой толщи грунта.

В связи с длительным извлечением больших масс воды в период откачки изменяется не только внутрипластовое давление, но и напряженное состояние массива пород. В некоторых случаях это может приводить не только к оседанию земной поверхности, но и к образованию провально-суффозионных деформаций.

Величина осадок земной поверхности в ряде стран мира достигает многих метров, а площади оседания — сотен и тысяч км² (Мексика, Япония, США, Нидерланды и др.). Накопленный опыт эксплуатации крупнейших водозаборов подземных вод свидетельствует о необходимости проведения специальных инженерно-геологических исследований в зоне их воздействия. Установлено, что оседание земной поверхности нередко сопровождается подтоплением и заболачиванием

территории, деформациями зданий и сооружений, инженерных коммуникаций и др.

Впервые оседание земной поверхности в связи с интенсивными откачками подземных вод было зарегистрировано в японских городах Токио, Осака и Ниагата в 30-х гг. прошлого столетия. К 60-м гг. максимальный суммарный отбор подземных вод только в г. Токио превысил 600 тыс. м³/сут, а общее снижение напоров составило более 150 м. В 1975 г. максимальная величина снижения поверхности земли в этом городе достигало 4,0 м. В результате часть города оказалась ниже уровня моря, и для ее защиты потребовалось устройство 200 км защитных дамб.

Катастрофических размеров оседание земной поверхности достигло в столице Мексики — городе Мехико, где его северо-восточная часть опустилась на 9 м. Город расположен в межгорной котловине, в геологическом строении которой преобладают слабоуплотненные монтмориллонитовые глины озерного происхождения, переслаивающиеся с водоносными песками, илами и другими рыхлыми породами.

Весьма значительное оседание грунта на глубину до 8 м отмечено в долине Сан-Хоакин в Центральной Калифорнии (США). В течение многих десятилетий здесь из водоносных песков и алевритов активно извлекалась подземная вода.

В результате многолетних откачек подземных вод в районе одной из золотобывающих шахт в Южной Африке образовалась огромная депрессионная воронка. В ее центре уровень воды был снижен на 450 м, на расстоянии 15 км от шахты — на 50 м. В этом районе отмечено повсеместное оседание земной поверхности за счет уплотнения дисперсных грунтов.

Аналогичные проблемы, связанные с изменением напряженного состояния массивов горных пород при длительных откачках подземных вод, возникают в Китае (г. Шанхай и др.), Англии (г. Лондон), Италии (г. Венеция) и во многих других странах.

Скорость оседания земной поверхности колеблется от 10–20 мм/год до 500 мм/год (г. Мехико). Обязательными условиями развития этого процесса являются: 1) длительный интенсивный отбор подземных вод и 2) наличие хорошо водопроницаемых слабоуплотненных песчано-глинистых отложений, илов, сапропелей и других рыхлых осадочных пород.

На территории бывшего СССР более или менее значительное оседание земной поверхности, вызванное откачкой подземных вод, фиксировалось лишь в г. Таллине — в центральной части города оно составило более 60 см. Максимальное оседание поверхности в г. Москве отмечено на левом берегу р. Москва в районе Звенигородского шоссе и составило лишь 15,6 см. Тем не менее, по мнению Л. С. Язвина, Б. С. Боревского и других ученых, изучение этих процессов и их прогноз представляет весьма важную задачу.

Второй по значению причиной оседания земной поверхности является **извлечение из недр земли нефти**. Эти процессы получили распространение в некоторых районах, расположенных вблизи нефтяных и газовых промыслов. Опускание поверхности земли на нефтепромыслах Апшеронского полуострова составило 2,5 м за 50 лет. Сходные явления наблюдались в Венесуэле (3,3 м за 30 лет), в г. Лонг-Биче (США) и в других районах мира. Восстановление давления в нефтеносных пластах позволило приостановить оседания.

Мероприятия, предупреждающие появление и развитие в период откачек подземных вод оседания земной поверхности, сводятся, в основном, к **регулированию отбираемого количества воды**. Например, в Японии действует закон «Правило (контроль) отбора подземных вод», запрещающий чрезмерный водоотбор. Практикуется также нагнетание в водоносные слои сжатого воздуха для поддержания и восстановления пластового давления.

Глава 31. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, СВЯЗАННЫЕ С ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИЕЙ ЗЕМЛИ

§ 1. Сейсмические процессы

Сейсмические (от греч. «сеймос» — колебание) процессы возникают в результате разрядки внутренних напряжений Земли. Они относятся к категории наиболее опасных геологических процессов. На поверхности земной коры сейсмические процессы проявляются в виде **землетрясений** (на суше) и **моретрясений** — (на дне океанов).

Землетрясения — внезапные подземные толчки и быстрые упругие колебания земной поверхности. По происхождению различают землетрясения **вулканические**, связанные с извержением вулканов, **денудационные** (обвальные и провальные), **техногенные**, возникающие в результате подземных взрывов и других видов деятельности человека. Однако наиболее распространенными и разрушительными являются **тектонические** (95% всех землетрясений в мире), связанные с внутренней энергией Земли.

Все самые разрушительные землетрясения в мире, число жертв которых в совокупности составило многие миллионы человек, имеют тектоническую природу. Таковы землетрясения в Китае (1556 г. — Шаньси, число жертв 830 тыс. чел., 1976 г. — Тянь-Шань — 255 тыс.), в Японии (1923 г. — Кванто, 143 тыс.), в Португалии (1755 г. — Лиссабон, 70 тыс.) и др.

Землетрясения исключительно опасны не только прямым воздействием, но и негативными последствиями в виде оползней, обвалов, снежных лавин, селей, цунами и других неблагоприятных процессов. Так, например, в Таджикистане во время Хаитского землетрясения в июле 1949 г. в результате возникших оползней, обвалов и селей погибло и ранено более 25 тыс. человек.

Величайшая сейсмическая катастрофа произошла в высокогорной части Тибета 15 августа 1950 г. Ученые подсчитали, что энергия этого землетрясения была эквивалентна энергии взрыва 100 тыс. атомных бомб. Немногие очевидцы, оставшиеся в живых, свидетельствовали об огромных изменениях в рельефе, об оглушительном грохоте, сопровождавшем подземные толчки, о небе, померкшем от поднявшейся пыли.

Землетрясения стирают с лица Земли целые поселения, разрушают мосты и дороги, вызывают пожары и наводнения при прорыве плотин и приводят к другим губительным последствиям.

В среднем в мире ежегодно происходит 1 катастрофическое, 10 сильно разрушительных и 100 разрушительных землетрясений.

Распространение землетрясений. Места проявления землетрясений совпадают с границами литосферных плит, районами вулканической деятельности и горообразования. Выделяют два главных сейсмических пояса — Средиземноморско-Гималайский и Тихоокеанский (рис. 31.1).

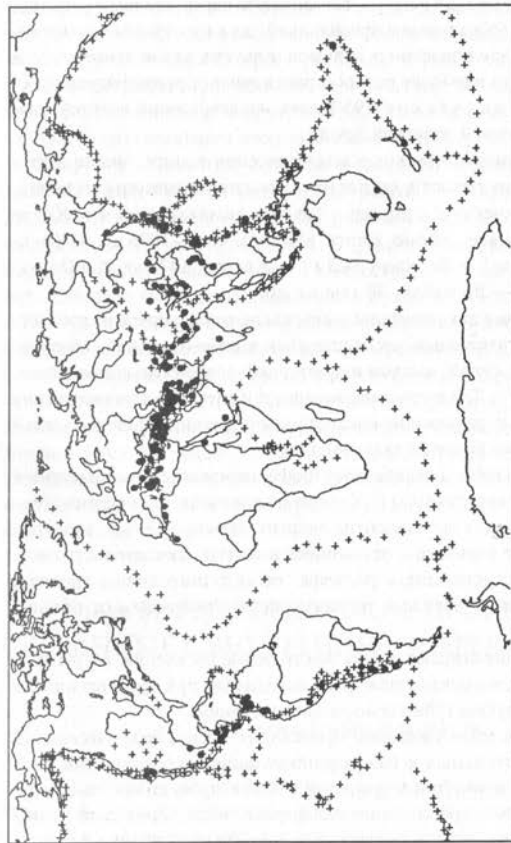


Рис. 31.1. Географическое распределение землетрясений:
 + — эпицентры землетрясений; • — эпицентры сейсмических катастроф

Средиземноморско-Гималайский пояс простирается через юг Евразии от берегов Португалии на западе до Малайского архипелага на востоке (Пиренеи, Альпы, Карпаты, Крым, Кавказ, Копетдаг, Гималаи, горные цепи Бирмы, острова Индонезии). К этому поясу приурочено 15% всех землетрясений в мире.

Тихоокеанский «огненный» пояс огромным кольцом охватывает берега Тихого океана. В его состав входят сейсмические зоны Аляски, Камчатки, Курильских островов, Японии, Филиппин, Кордильер, Анд, побережий Центральной и Северной Америки, Алеутские и Гавайские острова. С этим поясом связано около 80% всех крупнейших землетрясений в мире.

За границами указанных поясов остаются некоторые другие весьма опасные сейсмические зоны: Тянь-Шань, горные системы Монголии и Китая, Прибайкалье в России, область великих озер в Африке.

На остальной части поверхности суши (платформы и другие малоподвижные участки земной коры), а также на обширных пространствах дна океанов (за исключением срединно-океанических и глубоководных желобов Тихого океана) землетрясения редки и не достигают большой силы.

В рельефе наиболее опасные сейсмические районы приурочены к молодым складчатым горным сооружениям (подвижным геосинклинальным зонам), для которых характерны активные тектонические движения.

Механизм возникновения тектонических землетрясений. Согласно современным представлениям, землетрясения тектонического типа есть следствие блоковых и глыбовых движений гигантских литосферных плит. Не случайно поэтому 95% эпицентров землетрясений сосредоточены вдоль границ плит.

В зонах взаимодействия литосферных плит происходит их торможение, накопление огромных механических напряжений, а затем внезапное высвобождение энергии, позволяющее плитам возобновить движение. Возникающие при этом разрывы и смещения пород сопровождаются подземными толчками и образованием сейсмических волн.

С. Г. Соммервилл и другие ученые полагают, что интенсивность высвобождения энергии зависит от продолжительности приостановки движения плит, отсюда часто приводимый афоризм: «Чем длительнее ожидание, тем сильнее удар».

Строение сейсмического очага. Область возникновения подземного удара в толще земной коры и верхней мантии, где внезапно высвобождается потенциальная энергия, называется сейсмическим очагом. В центре очага расположен гипоцентр (фокус) землетрясения. Проекция гипоцентра на земную поверхность называется эпицентром (рис. 31.2). Сила удара в эпицентре землетрясения максимальная, так как расстояние от поверхности земли до очага здесь наименьшая. Линии равной интенсивности землетрясения называют изосейтами.

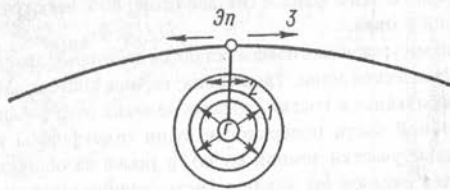


Рис. 31.2. Гипоцентр (Г), эпицентр (Эп) и сейсмические волны: 1 — продольные; 2 — поперечные; 3 — поверхностные

Повторные сейсмические толчки (афтершоки), которые следуют после каждого сильного землетрясения, свидетельствуют о продолжающемся процессе высвобождения энергии. Со временем их количество и сила падают. В некоторых случаях районы остаются сейсмически активными в течение десятков лет.

По глубине залегания гипоцентра (фокуса) различают землетрясения: 1) мелкофокусные — 0–60 км; 2) среднефокусные — 60–150 км и 3) глубокофокусные — 150–700 км. Основная часть гипоцентров землетрясений приурочена к верхней части земной коры и залегает на глубинах порядка 20–30 км.

От очага землетрясений во все стороны расходятся упругие сейсмические волны, которые, достигая поверхности земли, производят на ней разрушительную работу. Их подразделяют на продольные, которые вызывают сжатие и растяжение пород в направлении их движения, и поперечные, вызывающие в твердых породах деформации сдвига. Разрушительное действие на сооружения

оказывают и поверхностные волны, которые расходятся во все стороны от эпицентра (рис. 31.2).

Оценка силы и интенсивности землетрясений. Наука, которая всесторонне изучает землетрясения, называется сейсмологией. Основной объем наблюдений выполняется на сейсмических станциях, оснащенных весьма чувствительными приборами для записи колебаний грунта — сейсмографами. Основным документом, характеризующим землетрясение, является сейсмограмма (рис. 31.3). С ее помощью определяют расстояние до эпицентра землетрясения, глубину гипоцентра, энергию в очаге и другие параметры. По А. Д. Говарду, 11-минутный интервал между прибытием на сейсмограф *P*-волн и *S*-волн (рис. 31.3) указывает на расстояние до эпицентра, которое составляет 10 тыс. км.

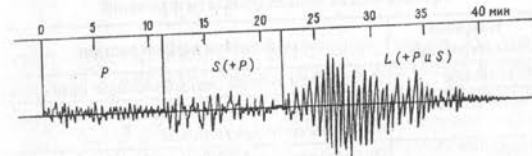


Рис. 31.3. Схематическая сейсмограмма (по А. Д. Говарду): *P* — продольные (первичные) волны; *S* — поперечные (вторичные) волны; *L* — поверхностные (длинные) волны

Для количественной оценки силы землетрясения в его очаге широко используется **шкала магнитуд (*M*) по Рихтеру**. Магнитуда землетрясения (*M*) определяется по амплитуде сейсмических волн (*A*), записанных на сейсмограмме в микрометрах на расстоянии 100 км от эпицентра, и представляет собой десятичный логарифм максимальной амплитуды, т. е. $M = \lg A$. При других расстояниях от эпицентра до сейсмостанции вводится поправка.

Самые сильные из зарегистрированных землетрясений имели магнитуду 8,9–9,0. Так, землетрясение в Сан-Рику (Япония) в 1933 г. с $M 8,9$ высвободило энергию, эквивалентную 125 млн т тротила. Атомная бомба, сброшенная на Хиросиму, была эквивалентна 20 тыс. т тротила (А. Д. Говард, И. Ремсон, 1982).

Начиная с М5,5 землетрясения оказываются разрушительными, в пределах М7 — весьма разрушительными, а при М8 и более — катастрофическими.

Если магнитуда характеризует силу землетрясения в его очаге, то на поверхности земли интенсивность землетрясения оценивается в баллах. Балльность определяется реакцией людей, изменениями в рельефе, повреждениями сооружений и др. (табл. 31.1). В России используется 12-балльная шкала интенсивности землетрясения MSK-64, составленная С. В. Медведевым, В. Шпонхойером и В. Карником. В 1992 г. эта шкала была заменена более совершенной шкалой EMS-92, которая в настоящее время адаптируется к российским условиям (Сейсмическая опасность. Т. 2. М., 2000).

Таблица 31.1

Сейсмическая шкала (схематизировано)

Балл	Название землетрясения	Краткая характеристика
1	Незаметное	Отмечается только сейсмическими приборами
2	Очень слабое	Ощущается отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя
3	Слабое	Ощущается лишь небольшой частью населения
4	Умеренное	Распознается по легкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стекол, скрипу дверей и стен
5	Довольно сильное	Общее сотрясение зданий, колебание мебели. Трещины в оконных стеклах и штукатурке. Пробуждение спящих
6	Сильное	Ощущается всеми. Картины падают со стен. Откалываются куски штукатурки, легкое повреждение зданий
7	Очень сильное	Трещины в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные постройки остаются невредимыми. Ветхие здания разрушаются.
8	Разрушительное	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Дома сильно повреждаются
9	Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных домов. Падение дымовых труб.

Окончание табл. 31.1

Балл	Название землетрясения	Краткая характеристика
10	Уничтожающее	Крупные трещины в земле. Оползни и обвалы. Разрушение каменных построек. Искривление ж.-д. рельсов. Водопроводные и канализационные трубы разрываются.
11	Катастрофа	Широкие трещины в земле. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома совершенно разрушаются. Разрушаются мосты, плотины, насыпи.
12	Сильная катастрофа	Ни одно сооружение не выдерживает. Большие изменения в рельефе. Заметны поверхностные волны. Образуются водопады. Изменяются русла рек

Сейсмические районы на территории России. На территории бывшего СССР наиболее губительные последствия в последние десятилетия вызвали землетрясения в г. Ашхабаде (Туркменистан) в октябре 1948 г. (в течение 20 с разрушена значительная часть города, погибло более 40 тыс. человек), в г. Ташкенте (Узбекистан) в апреле 1966 г. (значительные разрушения в центральной части города), в г. Спитаке (Армения) в декабре 1988 г. (погибло 25 тыс. человек и ранено 250 тыс.).

После распада СССР основная часть Средиземноморско-Гималайского сейсмического пояса (Карпаты, Крым, Кавказ, Средняя Азия и др.) оказалась на территории ближнего зарубежья. Однако и на территории России сейсмические районы (балльность 7 и выше) составляют около 20%. Самое крупное на территории России землетрясение произошло 27 мая 1995 г., когда был полностью разрушен г. Нефтегорск на севере о. Сахалин и погибло более 2 тыс. человек (рис. 31.4).

Другое сильнейшее землетрясение в России — Шикотанское, происшедшее 4–5 октября 1994 г. в 70 км восточнее о. Шикотан (Дальний Восток), с магнитудой 8,0 и интенсивностью — 9 баллов. Общее количество пострадавших составило 1,5 тыс. человек.

К чрезвычайно опасным районам с балльностью 8–10 и выше относят Дальний Восток (включая Камчатку, Сахалин и Курильские



Рис. 31.4. Последствия землетрясения на севере о. Сахалин (г. Нефтегорск)

острова), юг Сибири (особенно Прибайкалье) (Сейсмические опасности. Т. 2. 2000). Определенную угрозу представляют и 7-балльные зоны Урала, Северного Кавказа, Поволжья, Кольского полуострова и некоторые другие.

Сейсмическую опасность на этих территориях увеличивают неконтролируемая добыча нефти и газа, создание крупных водохранилищ и другие техногенные воздействия человека на литосферную оболочку.

Согласно СНиП 11-7-81*, сейсмичность (в баллах) для района строительства следует принимать на основе комплекта карт общего сейсмического районирования территории РФ-ОСР-97, утвержденных Российской академией наук (рис. 31.5). Карты ОСР-97 отражают (10% — карта А, 5% — карта В, 1%-ную — карта С) вероятность возможного превышения в течение 50 лет указанных на картах значений сейсмической интенсивности. Карта ОСР-97-А (10%) предназначена для использования в массовом строительстве, карта ОСР-97-В (5%) — для строительства объектов повышенной ответственности (школы, больницы и др.) и карта ОСР-97-С (1%) — для особо ответственных сооружений (АЭС и другие экологически опасные объекты).

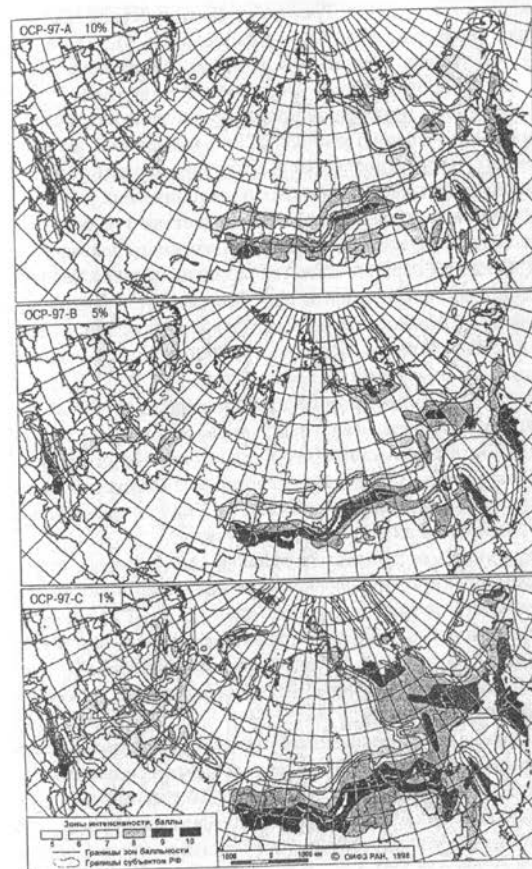


Рис. 31.5. Комплект новых карт сейсмического районирования территории России и сопредельных районов (ОСР-97) в границах бывшего СССР

Так, например, для г. Ростова-на-Дону сейсмическая опасность составляет по картам А (10%) — 6 баллов, В (5%) — 6 баллов и для С (1%) — 7 баллов. Вероятность возможного превышения — соответственно 10%; 5% и 1%.

Сейсмическое микрорайонирование основано на уточнении (корректировка на 1–2 балла) данных ОСР на конкретных застраиваемых территориях. Корректировка балльности производится в зависимости от грунтовых, геоморфологических и тектонических условий участка предполагаемого строительства. Повышают на 1–2 балльность при строительстве на участках с сильно расчлененным рельефом, на берегах рек и склонах оврагов, в местах развития опасных геологических процессов (карста, оползней и др.), при высоком залегании уровня грунтовых вод. Крайне опасны участки вблизи тектонических разрывов. Повышают балльность и при строительстве на рыхлых песках и водонасыщенных глинистых грунтах.

Наиболее благоприятные грунты при строительстве в сейсмических районах — прочные скальные, крупнообломочные с небольшим содержанием песчано-глинистого заполнителя и многолетнемерзлые в твердом состоянии. На строительных площадках, сложенных этими грунтами, балльность снижают на 1 балл в сравнении с балльностью, указанной на сейсмических картах.

В равнинных и холмистых районах, для которых отсутствуют карты сейсмического микрорайонирования, сейсмичность площадки строительства уточняют с помощью табл. 31.2 (СНиП 11–7–81*, изд. 2000 г.). В отчетах об инженерно-геологических изысканиях указывают также категорию грунтов по сейсмическим свойствам (I, II или III). Грунты II категории сейсмичности, согласно таблице, свою балльность сохраняют без изменения.

Прогноз землетрясения включает в себя предсказание места, силы и времени его проявления. Для прогноза места и силы землетрясения используются карты общего сейсмического районирования (ОСР) и микрорайонирования. Предсказание момента начала землетрясения находится на стадии разработки, хотя заметные успехи в этом направлении уже имеются.

Различают следующие стадии прогноза сильного землетрясения: **долгосрочный** (от десятков до нескольких лет), **среднесрочный** (от нескольких лет до нескольких месяцев), **краткосрочный** (от несколь-

Таблица 31.2
Корректировка сейсмичности площадок строительства по грунтовым условиям

Категория грунтов по сейсмическим свойствам	Грунты	Сейсмичность площадки строительства при сейсмичности района, баллы		
		7	8	9
I	Скальные грунты всех видов (в том числе вечномерзлые и вечномерзлые оттаявшие) неветерельные и слабоветерельные; крупнообломочные грунты плотные маловлажные из магматических пород, содержащие до 30% песчано-глинистого заполнителя; ветерельные и сильноветерельные глинистые и нескальные твердомерзлые (вечномерзлые) скальные и нескальные твердомерзлые (вечномерзлые) грунты при температуре -2°C и ниже при строительстве и эксплуатации по принципу I (сохранение грунтов основания в мерзлом состоянии)	6	7	8
II	Скальные грунты ветерельные и сильноветерельные, в том числе вечномерзлые, кроме отнесенных к I категории; крупнообломочные грунты, за исключением отнесенных к I категории; пески гравелистые, крупинные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателем консолидации $I_c \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e < 0,9$ для глины и суглинков и $e < 0,7$ — для супесей; вечномерзлые нескальные грунты пластичномерзлые или сыпучемерзлые, а также твердомерзлые при температуре выше -2°C при строительстве и эксплуатации по принципу I	7	8	9

Окончание табл. 31.2

Категория грунтов по сейсмическим свойствам	Грунты	Сейсмичность, площадки строительства при сейсмичности района, баллы		
		7	8	9
III	Пески рыхлые независимо от влажности и крупности; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности водонасыщенные, пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L > 0,5$; глинистые грунты с показателем консистенции $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e \geq 0,9$ — для глин и суглинков и $e \geq 0,7$ — для супесей; вечномерзлые скальные грунты при строительстве и эксплуатации по принципу II (допускается оттаивания грунтов основания)	8	9	>9

ких месяцев до нескольких дней, а иногда и часов) и **оперативный** (от нескольких часов до секунд).

Прогноз времени землетрясения основывается на сборе и анализе различных его предвестников: изменении геомагнитного поля и содержания радона в подземных водах и газах, деформации и движении земной коры, изменении уровня подземных вод и дебита источников, снижении электросопротивления глубинных слоев горных пород и мн. др.

Строительство в сейсмических районах. Условия строительства в сейсмических районах, а к ним относятся районы с прогнозируемой силой землетрясения 7,8 и 9 баллов, регламентируются специальными СНиП 11-7-81*.

При выборе строительных площадок в сейсмических районах предпочтение следует отдавать участкам со спокойным горизонтальным рельефом, сложенным скальными, полускальными и плотными крупнообломочными, песчаными и глинистыми грунтами с глубиной залегания грунтовых вод не менее 10 м от поверхности земли, удаленным от зон тектонических нарушений и очагов развития опасных геологических процессов.

Общий принцип обеспечения сейсмостойкости сооружений — монолитность и равнопрочность всех элементов зданий и сооружений, применение антисейсмических швов, жесткие каркасы, качающиеся фундаментные опоры и др.

Опыт Ташкентского и других землетрясений показал, что для застройки городов наиболее целесообразны современные каркасные, каркасно-панельные и крупнопанельные дома преимущественно из сборного железобетона на сплошной плите.

Большие мосты следует располагать вне зон тектонических нарушений, на участках речных долин с устойчивыми склонами. Арочные мосты допускается применять только при наличии скального основания. При трассировании дорог в районах сейсмичностью 7 и более баллов особо неблагоприятные в инженерно-геологическом отношении участки (обвалы, оползни, лавины и др.), как правило, следует обходить. При проектировании систем водоснабжения следует предусматривать использование не менее двух источников водоснабжения.

В заключение кратко остановимся на характеристике землетрясений, эпицентры которых располагаются не на суше, а на дне океанов. Возникающие моретрясения могут приводить к образованию огромных океанских волн — **цунами** (яп. *tsu* — гавань, *namí* — большая волна).

Распространяясь во все стороны от эпицентра на дне океана, волны проходят расстояния в сотни и тысячи километров со скоростью до 800 км/ч. На мелководье за счет трения скорость волны уменьшается, но ее высота резко увеличивается — до 10–30 м (рис. 31.6, Сейсмические опасности России, 2002), а на побережье Аляски в 1964 г. — до 66 м. Многометровая стена воды всей мощью обрушивается на берег, сметая на своем пути постройки, различные сооружения, огромные деревья и др.

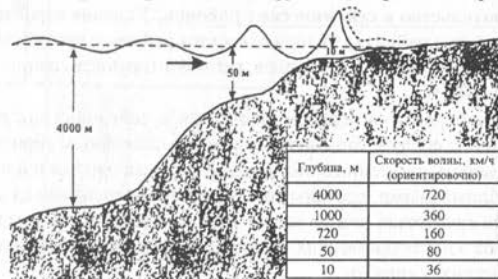


Рис. 31.6. Превращение волны цунами вблизи побережья

В мире известно более 900 случаев возникновения цунами, из них около 100 имели катастрофические последствия. В России цунами наблюдаются на восточных берегах Камчатки и Курильских островов.

Крупнейшая в новейшей истории природная катастрофа, вызванная землетрясением близ о. Суматра с магнитудой 8,9 по шкале Рихтера, произошла 26 декабря 2004 г. Образовались гигантские волны цунами, которые смыли деревни и курорты в низменных районах Индонезии, Таиланда, Малайзии, Индии и других стран. От волн цунами погибло более 150 тыс. человек, десятки тысяч пропали без вести или ранены.

В нашей стране система предупреждения о цунами была создана в начале 60-х гг. На крупных береговых сейсмических станциях в г. Петропавловске и других городах ведутся постоянные наблюдения за параметрами землетрясений и в необходимых случаях выдается сигнал «Внимание! Цунами».

Наиболее радикальная защита от волн цунами — возведение высоких защитных насыпей, железобетонных молв, волноотбойных стенок и др. Здания и сооружения следует размещать на высоких отметках рельефа. Очень важно сохранять устойчивость и защитные

свойства природных водных экосистем. По мнению ученых, огромные масштабы разрушений в Индонезии и других странах в декабре 2004 г. были во многом предопределены сведением мангровых зарослей и разрушением барьерных коралловых рифов в этих районах.

Глава 32. МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Нарушения надежности особо ответственных зданий и сооружений в период их возведения и эксплуатации потребовало создания нового направления в инженерно-геологических исследованиях — мониторинга опасных геологических процессов. Составной его частью является мониторинг опасных геологических процессов, проводимый в сложных инженерно-геологических условиях.

Мониторинг опасных геологических процессов (ОГП) — это единая система регулярных наблюдений и контроля за их развитием. В состав мониторинга ОГП входит также: 1) анализ результатов наблюдений, расчетов и моделирования, рекомендаций по инженерной защите территории, зданий и сооружений; 2) проектирование и осуществление дополнительных мероприятий по обеспечению надежности сооружений и эффективности инженерной защиты от опасных геологических процессов.

Объектами мониторинга служат территории активного проявления ОГП, выделенные по данным инженерно-геологических изысканий. При строительстве и эксплуатации зданий и сооружений I и II уровней ответственности (плотины, гидро-, тепло- и атомные электростанции, сооружения башенного типа, магистральные трубопроводы и др.) мониторинг ОГП проводится в обязательном порядке.

По Г.С. Золотареву (1990), «трудно гарантировать нормальную работу и предотвратить катастрофы на таких сооружениях, как Северо-Муйский тоннель, Рогунская ГЭС, авто- и железные дороги, крупные города и промышленные объекты в горно-складчатых и сейсмически активных областях, с интенсивным развитием оползней, селей, абразии, карста, если не будут организованы и квалифицированно проводиться комплексные работы по мониторингу геологической среды».

В задачу мониторинга опасных геологических процессов входит своевременное выявление и прогнозирование развития ОГП, контроль

и диагностика технического состояния сооружений инженерной защиты, сравнение полученных при наблюдениях данных с допустимыми параметрами для обеспечения геологически безопасной эксплуатации строительного объекта и обеспечения безопасности людей.

В состав мониторинга ОГП включают следующие виды работ:

- 1) измерения оседания, смещения, просадок и других деформаций поверхности массива грунтов под воздействием оползневых, карстовых, селевых, мерзлотных, абразионных и других геологических процессов;
- 2) измерение деформаций зданий и сооружений, включая и сооружения инженерной защиты;
- 3) наблюдения за изменением напряженного состояния в массиве грунтов и сопутствующими явлениями (обрушение кровли и стенок подземных выработок, горные удары, пучение и др.);
- 4) наблюдения за изменением уровня, температурного (для многолетней мерзлоты) и гидрохимического режима подземных вод;
- 5) наблюдения за изменением геофизических полей (гравитационных, электрических, магнитных и др.);
- 6) наблюдения за аномальными деформациями земной коры, изменением режима, дебита, температуры, химического состава подземных вод в сейсмоактивных зонах (рис. 32.1);
- 7) система автоматической сигнализации на случай появления недопустимых деформаций (карстовых, мерзлотных и др.).



Рис. 32.1. Мониторинг сейсмических процессов (наблюдения по изучению афтершоков Чуйского землетрясения)

Мониторинг ОГП осуществляют с использованием широкого спектра методов: высокоточных геодезических наблюдений, геофизических методов (геоэлектрических, сейсмических, гравимагнитных и др.), буровых и горнопроходческих работ, физического моделирования процессов и т. д.

Основой мониторинга служит **наблюдательная сеть**. Для долговременных наблюдений используется **контрольно-измерительная аппаратура (КИА)**, в состав которой входят грунтовые и глубинные реперы, деформационные марки, а также датчики, соединительные и регистрационные устройства (датчики порового давления в грунте, сейсмодатчики, инклинометры и др.) для измерения напряжений в грунтах и горизонтальных перемещений. Общая модель мониторинга, комплекс технических средств, методы наблюдений и обработка данных регламентируются действующим ГОСТ Р22.1.01.

Данные наблюдений служат основой для принятия оперативных, краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных прогнозов.

Мониторинг ОГП завершается принятием управляющих решений по выработке мер, направленных на предупреждение и предотвращение дальнейшего развития ОГП в процессе строительства и эксплуатации объекта.

В инженерно-геологической и строительной практике имеется много примеров эффективного проведения мониторинга опасных геологических процессов, в результате которого был предотвращен либо сведен к минимуму ущерб от их воздействия (крупные оползни в Махачкале, Кисловодске и др.).

Наблюдения за ОГП осуществляются специализированными организациями в рамках Государственного мониторинга геологической среды, который, в свою очередь, является составной частью Единой государственной системы экологического мониторинга.

Необходимость организации и проведения мониторинга опасных геологических процессов отражена во всех действующих строительных нормах и правилах. В настоящее время «значение геомониторинга начинают хорошо понимать все участники строительного процесса: инвесторы, изыскатели, проектировщики, строители, технологи, риэлторы, банки, страховые компании и др.» (С. Н. Сотников и др., 2002).

Раздел V

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Глава 33. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

§ 1. Место инженерно-геологических изысканий в системе инженерных изысканий для строительства

Инженерно-геологические изыскания — составная часть инженерных изысканий для строительства, порядок проведения которых регламентируется СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

Инженерно-геологические изыскания выполняются при проектировании различных зданий, сооружений и их комплексов. В необходимых случаях они могут быть продолжены в период строительства, эксплуатации, реконструкции и ликвидации объектов. В состав инженерных изысканий, помимо инженерно-геологических, входят другие виды изысканий (рис. 33.1): инженерно-геодезические (получение топографо-геодезических материалов, данных о рельефе местности и др.), инженерно-гидрометеорологические (климатические условия,

гидрологический режим рек и др.), инженерно-экологические (оценка и прогноз современного экологического состояния), а также изыскания местных и грунтовых строительных материалов и источников водоснабжения на базе подземных вод (с потребностью в хозяйственно-питьевой воде до 1000 м³/сут.).

Кроме того, к инженерным изысканиям для строительства относят следующие специальные работы:

- геотехнический контроль;
- обследование грунтов оснований фундаментов зданий и сооружений;
- локальный мониторинг компонентов окружающей среды;
- геодезические, геологические и другие сопутствующие работы в процессе строительства, эксплуатации и ликвидации объектов;
- обоснование мероприятий по инженерной защите территорий и другие виды работ.



Рис. 33.1. Основные виды инженерных изысканий для строительства

Постановлением Правительства Российской Федерации от 19 января 2006 г. № 20 к основным видам инженерных изысканий, кроме указанных выше, отнесены «Инженерно-геотехнические» изыскания. Установлено также, что «содержание работ, осуществляемых в ходе инженерных изысканий как основных, так и специальных видов, определяется Министерством регионального развития Российской Федерации по согласованию с Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору».

§ 2. Основные цели, задачи и состав инженерно-геологических изысканий

Инженерно-геологические изыскания — это комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ, которые выполняются для обеспечения строительного проектирования исходными данными об инженерно-геологических условиях района (площадки, участка, трассы) проектируемого строительства.

Под инженерно-геологическими условиями понимается совокупность компонентов геологической среды, которые могут оказать влияние на проектируемые здания и сооружения (рельеф и геоморфологические условия, геологическое строение, подземные воды, состав, состояние и свойства грунтов, геологические и инженерно-геологические процессы).

Одной из важнейших задач инженерно-геологических изысканий является прогнозирование возможных изменений в сфере взаимодействия проектируемого сооружения с окружающей природной средой.

В состав инженерно-геологических изысканий входит следующий основной комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ: сбор и анализ имеющихся геологических материалов по району строительства; дешифрирование космо- и аэрофотоматериалов и аэровизуальные наблюдения; маршрутные наблюдения (рекогносцировочное обследование), буровые и горнопроходческие работы; геофизические исследования; опытные полевые работы; стационарные наблюдения; лабораторные исследования грунтов и подземных вод; камеральная обработка собранных материалов и составление технического отчета.

В необходимых случаях в состав инженерно-геологических изысканий могут быть включены и другие виды работ, например, обследование грунтов оснований фундаментов существующих зданий и сооружений, сейсмологические исследования и др.

Объем и содержание инженерно-геологических изысканий в каждом конкретном случае зависит от: 1) категории сложности инженерно-геологических условий площадки (участка); 2) степени их изученности; 3) стадий (этапов) проектирования и 4) вида (назначения) зданий и сооружений (трасс) и уровня их ответственности.

Согласно ГОСТ 27751-88, устанавливается три уровня ответственности зданий и сооружений: I — повышенный (главные корпуса АЭС, уникальные здания и сооружения и др.); II — нормальный (объекты массового строительства) и III — пониженный (временные здания, склады, парники и др.).

Свод правил по проектированию и строительству СП 11-105-97, ч. I устанавливает **три категории** сложности инженерно-геологических условий (описание упрощено):

I (простая) — поверхность площадки (участка) горизонтальна, не более двух различных по литологии слоев; подземные воды отсутствуют или имеется один горизонт с однородным химическим составом; опасные геологические процессы и специфические грунты отсутствуют;

II (средней сложности) — поверхность площадки наклонная; слабо расчлененная; не более четырех слоев, различных по литологии; два и более выдержанных горизонтов подземных вод; опасные геологические процессы и специфические грунты имеют ограниченное распространение и не оказывают существенного влияния на выбор проектных решений;

III (сложная) — поверхность сильно расчлененная; более четырех различных слоев с резко меняющейся мощностью; горизонты подземных вод не выдержаны по простиранию и мощности, с неоднородным химическим составом; опасные геологические процессы и специфические грунты имеют широкое распространение и оказывают решающее влияние на выбор проектных решений; активное техногенное воздействие.

Наиболее значительные объемы буровых, опытных и других видов работ выполняют при инженерно-геологических изысканиях для

строительства зданий и сооружений повышенного уровня ответственности в сложных инженерно-геологических условиях (III категория сложности).

§ 3. Договор (контракт), техническое задание и программа инженерно-геологических изысканий

Содержание этих важнейших проектно-изыскательских документов регламентируется СНиП 11-02-96.

Основанием для производства инженерно-геологических изысканий является договор (контракт) между заказчиком (финансирующей, проектной или строительной организацией) и исполнителем инженерно-геологических изысканий. Обязательными приложениями к договору должны быть техническое задание, календарный план работ и смета, а при наличии требования заказчика и программа инженерно-геологических изысканий.

В договоре (контракте) сторонами устанавливаются состав, объем, этапность и сроки выполнения изыскательских работ.

Кроме того, оговариваются особые условия, определяющие обязательства сторон по обеспечению необходимыми материалами, служебными и иными помещениями, рабочей силой, транспортными средствами и др.

В договоре (контракте) определяются порядок расчета стоимости работ, количество экземпляров отчетной технической документации, сроки и вид ее представления.

Техническое задание на выполнение инженерно-геологических изысканий составляется заказчиком и передается в изыскательскую организацию.

В техническом задании указываются местоположение площадки (или трассы) предполагаемого строительства, вид проектируемого сооружения, стадийность (этап) проектирования, конструктивные особенности проектируемых зданий и сооружений, намечаемый тип фундаментов (свайный, плита, ленточный), этажность, наличие мокрых технологических процессов, подвальных помещений, допус-

каемые величины деформаций, предполагаемая нагрузка на грунты основания и другие сведения.

Для трасс коммуникаций указываются предполагаемая глубина их заложения, протяженность, диаметр и материал трубопроводов и др.

В техническом задании не допускается устанавливать состав, объем и методику производства инженерно-геологических работ, расположение буровых скважин и шурфов, их глубину и т. п. Все это определяется изыскательской организацией и отражается в программе, которая затем должна быть согласована с заказчиком.

Программа инженерно-геологических изысканий устанавливает состав, объемы, методы и последовательность инженерно-геологических исследований. Ее содержание определяется видом строительства, уровнем ответственности сооружений, сложностью инженерно-геологических условий и стадией проектирования. Следует подчеркнуть, что в случае выявления в процессе инженерно-геологических изысканий непредвиденных сложных природных и техногенных условий исполнитель должен поставить заказчика в известность о необходимости внесения изменений в программу изысканий и в договор (контракт) в части увеличения продолжительности и стоимости изысканий (СНиП 11-02-96 п. 4.15).

При небольшом объеме намечаемых инженерно-геологических работ (несложные объекты II и III уровня ответственности, простые инженерно-геологические условия, высокая степень геологической изученности) допускается взамен программы составление технического предписания на производство изысканий.

В настоящее время право на выполнение инженерно-геологических изысканий имеют юридические и физические лица (независимо от форм собственности), обладающие соответствующими лицензиями на их производство. Лицензия выдается Федеральным лицензионным центром при Минстрое России на ограниченный срок (не более 5 лет).

Инженерно-геологические изыскания для строительства объектов I уровня ответственности (уникальные здания и сооружения, магистральные трубопроводы и др.) выполняются, как правило, специализированными проектно-изыскательскими организациями. Ранее основной объем инженерно-геологических изысканий на территории Российской Федерации выполняли региональные тресты инженерно-строительных изысканий (ТИСИЗы).

Выполнение инженерно-геологических изысканий без программы или предписания не допускается. На их производство заказчиком должно быть получено разрешение (регистрация) в территориальных органах исполнительной власти — центре по инженерным изысканиям при областной архитектуре. Основанием для выдачи разрешения, помимо программы или предписания, являются лицензия, техническое задание и смета на производство работ.

Материалы инженерно-геологических изысканий, передаваемые заказчику в виде технического отчета, подлежат обязательной государственной экспертизе. Физические или юридические лица, выполняющие инженерно-геологические изыскания, обязаны при выполнении инженерных изысканий применять средства измерений, прошедшие метрологическую проверку (калибровку) или аттестацию.

Глава 34. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ (РЕКОГНОСЦИРОВКА, СЪЕМКА И РАЗВЕДКА)

Инженерно-геологические изыскания выполняются последовательно, по этапам, в соответствии со стадиями проектирования. Основные этапы комплексных исследований: рекогносцировка, съемка и разведка. При этом выдерживается общий принцип проведения геологических работ, когда от этапа к этапу сокращается площадь исследований, но увеличивается их детальность.

Инженерно-геологическая рекогносцировка

Рекогносцировка предшествует съемке и проводится с целью предварительной оценки инженерно-геологических условий района строительства для обоснования предпроектной документации. Рекогносцировка может не проводиться, если имеется достаточное количество архивных и фондовых геологических материалов.

В задачу инженерно-геологической рекогносцировки входит предварительное выявление типов рельефа и геоморфологических элементов, уточнение собранных геологических материалов, осмотр и описание имеющихся обнажений горных пород, в том числе

карьеров, строительных выработок и др., выходов подземных вод на поверхность, внешних проявлений опасных геологических процессов и т. д. Для этого проводятся маршрутные наблюдения, а в необходимых случаях — аэровизуальные наблюдения, проходка отдельных неглубоких горных выработок, геофизические исследования и другие виды работ. По итогам рекогносцировки составляется схематическая карта инженерно-геологических условий района.

Инженерно-геологическая съемка

Инженерно-геологическая съемка проводится для площадной оценки и картирования инженерно-геологических условий района (участка) строительства. В состав инженерно-геологической съемки входит полный комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ (рис. 34.1).



Рис. 34.1. Полевые, лабораторные и камеральные работы в составе инженерно-геологической съемки

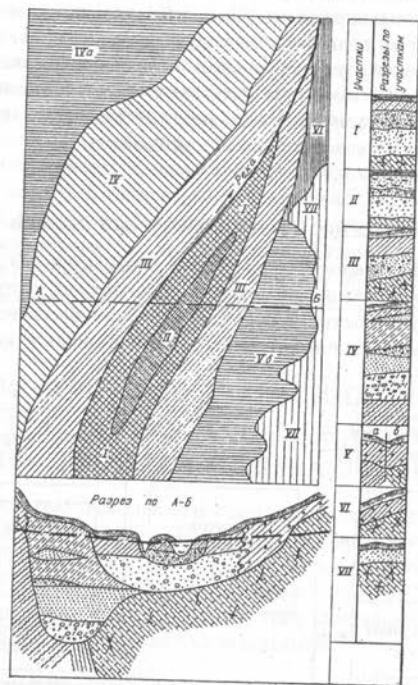


Рис. 34.2. Карта инженерно-геологического районирования (микрорайонирования)

Масштаб инженерно-геологической съемки определяется размерами изучаемой территории, видом строительства и характером проектируемых сооружений, сложностью инженерно-геологических условий и т. д. Различают съемки крупномасштабные или специальные (1:50 000 и крупнее), среднемасштабные и мелкомасштабные.

На основе полученных в ходе съемки данных составляют инженерно-геологическую карту района строительства. Это дает возможность выполнить инженерно-геологическое районирование территории и выделить участки, наиболее пригодные для строительства.

Инженерно-геологическая карта — это сведения о важнейших инженерно-геологических факторах в пределах изучаемой территории, состоит из собственно карты, условных обозначений, инженерно-геологических разрезов и пояснительной записки.

На инженерно-геологических картах отражают литологический состав и свойства пород, их распространение, условия залегания, возраст и происхождение, сведения о подземных водах и природных геологических и инженерно-геологических процессах.

Для составления инженерно-геологических карт используют различные вспомогательные карты: фактического материала, топографические, геологические, гидрогеологические, геоморфологические и карты строительных материалов.

Инженерно-геологические карты бывают трех видов: 1) инженерно-геологических условий; 2) инженерно-геологического районирования и 3) инженерно-геологические карты специального назначения.

Карты инженерно-геологических условий содержат информацию с расчетом на удовлетворение всех видов наземного строительства. Ее используют для общей оценки природных условий местности, где будет осуществлено строительство.

Карта инженерно-геологического районирования отражает разделение территории на части (регионы, области, районы, участки и т. д.), в зависимости от общности их инженерно-геологических условий (см. рис. 34.2, по А. И. Арцеву).

Карты специального назначения составляют применительно к конкретным видам строительства или сооружения. Они содержат оценку инженерно-геологических условий территории строительства и прогноз геологических процессов и явлений.

Для решения вопросов, связанных с детальным изучением подземных вод, проводят гидрогеологическую съемку.

Гидрогеологическая съемка — комплексное полевое исследование гидрогеологических условий с целью их картирования, с ее помощью обосновывают выбор участка водозабора и выявляют запасы под-

земных вод, дают оценку гидрогеологических условий территории водохранилищ, бассейнов и др., изучают общие гидрогеологические условия района и т. д.

Оценка территории по условиям водоснабжения на базе подземных вод может быть дана с помощью карты гидрогеологического районирования.

Инженерно-геологическая разведка

Инженерно-геологическая разведка производится на завершающем этапе изысканий и служит для уточнения инженерно-геологических условий под отдельным зданием или сооружением. Основанием для ее производства являются материалы инженерно-геологической съемки.

В результате инженерно-геологической разведки должны быть получены исходные количественные данные, необходимые для инженерно-геологической характеристики грунтовых оснований в сфере взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой и для прогноза изменения свойств грунтов на период строительства и эксплуатации.

Глава 35. СТАДИЙНОСТЬ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Инженерно-геологические изыскания для строительства согласно СНиП 11-02-96 выполняются последовательно на различных стадиях.

Различают следующие основные стадии работ: **предпроектную** (она включает предынвестиционную документацию, градостроительную документацию и обоснование инвестиций в строительство) и **проектную** (в состав которых входят проект и рабочая документация для строительства предприятий, зданий и сооружений).

Предпроектная документация разрабатывается с целью обоснования целесообразности строительства объекта, выбора строительных

площадок и направления магистральных транспортных и инженерных коммуникаций, основ генеральных схем инженерной защиты от опасных геологических процессов и др.

Инженерно-геологические изыскания на предпроектной стадии выполняют для крупных и сложных объектов. Они должны обеспечить изучение основных особенностей инженерно-геологических условий значительных по площади и по протяженности территорий.

Основной объем инженерно-геологических работ выполняют для обоснования инвестиций в строительство. В состав работ входит: проведение инженерно-геологической съемки на территории проектируемых строительных объектов и трасс линейных сооружений. При необходимости проводятся буровые и горнопроходческие работы, полевые методы исследования грунтов, лабораторные исследования, стационарные наблюдения и другие виды работ.

На всех предпроектных видах работ значительное внимание уделяют прогнозу оценки воздействия объектов строительства на окружающую природную среду.

Инженерно-геологические изыскания для разработки **проекта** должны обеспечивать комплексное изучение инженерно-геологических условий уже выбранной площадки (участка, трассы) и прогноз их изменений при строительстве и эксплуатации объекта.

По сравнению с предпроектной стадией перечень основных видов инженерно-геологических исследований практически не меняется, однако детальность их проведения увеличивается.

Инженерно-геологические изыскания для разработки **рабочей документации** проводятся на окончательно выбранной стройплощадке для отдельных зданий и сооружений с целью детализации и уточнения инженерно-геологических условий. Проходят скважины и шурфы (чаще всего по контурам и осям проектируемых зданий и сооружений), определяют расчетные показатели физико-механических свойств грунтов, выполняют полевые исследования грунтов, опытно-фильтрационные работы и геофизические исследования. Продолжают начатые на предшествующих стадиях изысканий стационарные наблюдения за развитием опасных геологических процессов, режимом подземных вод и т. д.

По результатам изысканий, как и на всех предшествующих стадиях, составляют технический отчет.

Для технически несложных объектов, а также при строительстве по типовым проектам инженерно-геологические изыскания выполняют для одной стадии: «рабочего проекта», при которой рабочая документация разрабатывается одновременно с проектом.

Инженерно-геологические изыскания при необходимости должны быть продолжены в период строительства, эксплуатации, реконструкции и ликвидации объектов.

Инженерно-геологические изыскания в период строительства выполняют лишь в особых случаях: 1) при строительстве ответственных зданий и сооружений, особенно в сложных инженерно-геологических условиях; 2) в условиях стесненной городской застройки; 3) при длительных перерывах во времени между окончанием изысканий и началом строительства объектов и т. д.

Инженерно-геологические изыскания в период строительства включают: 1) уточнение геологических и гидрогеологических условий в период вскрытия котлованов, тоннелей, прорезей и других выемок, выявление расхождений натуральных условий с проектными данными, внесение при необходимости соответствующих корректив и проведение дополнительных изыскательских работ; 2) контроль за ведением строительного водопонижения, инженерной подготовкой оснований зданий и сооружений, производством работ по закреплению грунтов и т. д.

Специальные инженерно-геологические исследования в период строительства проводят для определения скорости выветривания грунтов в откосах котлованов (выемок) и их устойчивости, за развитием склоновых и других гравитационных процессов в откосах котлованов и др.

По результатам инженерно-геологических изысканий в период строительства представляют технический отчет (заключение), который может служить основанием для внесения соответствующих корректив в процессе производства строительно-монтажных работ.

Согласно п. 6.28 СНиП 11-02-96, технический отчет должен содержать: 1) результаты обследований котлованов, тоннелей, траншей и других строительных выемок; 2) данные геотехнического контроля за качеством подготовки оснований; 3) сведения о режиме подземных вод; 4) контрольные определения характеристик свойств грунтов после их технической мелиорации (уплотнение, силикатизация и т.п.);

5) результаты стационарных наблюдений за изменением геотехнических условий; 6) общую оценку соответствия или несоответствия фактических инженерно-геологических условий принятым в проекте, а также другие материалы.

В случае необходимости заказчику предоставляются необходимые данные для принятия оперативных решений по уточнению и изменению проектных мероприятий.

В период эксплуатации объектов в необходимых случаях в соответствии с заданием заказчика проводят обследования грунтов оснований фундаментов существующих зданий и сооружений, а также при их расширении, строительстве новых близко примыкающих зданий и в других случаях.

При необходимости в период эксплуатации объектов осуществляют стационарные наблюдения (локальный мониторинг) за развитием опасных геологических процессов, деформациями зданий и сооружений и другими неблагоприятными факторами.

Содержание технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий в период эксплуатации зданий и сооружений регламентируется п. 6.29 СНиП 11-02-96. Согласно этому документу, в техническом отчете должны быть приведены рекомендации по устранению возникших отрицательных воздействий на устойчивость и условия эксплуатации зданий и сооружений. В частности, должны быть обоснованы мероприятия по усилению их фундаментов, закреплению грунтов оснований, устранению дефектов планировки и др.

Инженерно-геологические изыскания для реконструкции зданий и сооружений проводятся, как правило, в условиях плотной застройки и поэтому должны осуществляться с учетом конкретной природно-технической ситуации. По своему составу, объемам и применяемым методам изыскания для реконструкции значительно отличаются от изысканий под новое строительство. В частности, обязательным видом работ является натурное обследование окружающей территории и реконструируемого здания. В ходе обследования устанавливают геотехническую категорию объекта, необходимые объемы работ по изысканиям, принципиальные варианты реконструкции и усиления и др.

По результатам инженерно-геологических изысканий составляется технический отчет (заключение), в котором приводятся рекомендации

для принятия проектных решений, обосновывается необходимость усиления оснований, анализируются причины деформаций и мероприятия по их стабилизации и др.

Небольшой объем инженерно-геологических изысканий выполняется в период ликвидации зданий и сооружений. Цель этих работ — обоснование проектных решений по санации (оздоровлению) и рекультивации нарушенной территории, оценка опасности и риска от ликвидации объекта и др.

Глава 36. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

§ 1. Сбор и обработка материалов изысканий и исследований прошлых лет

Инженерно-геологические изыскания начинают со сбора и обработки материалов изысканий и исследований прошлых лет. Изучению подлежат сведения по геоморфологии, геологии, тектонике, гидрогеологии и другим особенностям природных условий района (участка). Важно располагать также данными о возможных деформациях зданий и сооружений и их причинах на исследуемой территории, существующих способах инженерной защиты, наличии грунтовых строительных материалов, источниках питьевого водоснабжения и др.

Все эти данные можно получить из инженерно-геологических отчетов, хранящихся в территориальных геологических фондах, текархивах проектных и строительных организаций, фондах городских и областных архитектурных управлений и из других источников.

По результатам сбора и обработки архивных и фондовых материалов оценивается степень геологической изученности района исследований и формулируется рабочая гипотеза о природных и инженерно-геологических условиях, в частности, устанавливается степень их сложности согласно СП 11-105-97, ч. I.

Анализ собранных материалов дает возможность в ходе выполнения инженерно-геологических изысканий оценивать динамику изменения геологической среды под влиянием природных и техногенных факторов.

Главное же заключается в том, что на основании сбора и анализа материалов прошлых лет возможно оптимизировать программу инженерно-геологических изысканий, по возможности сократить их объем и снизить затраты на производство.

§ 2. Дешифрирование аэро- и космоматериалов, аэровизуальные и маршрутные наблюдения

Согласно СП 11-105-97, ч. I, эти работы следует предусматривать при изучении и оценке инженерно-геологических условий значительных по площади (протяженности) территорий, а также при необходимости изучения динамики изменения этих условий.

Под инженерно-геологическим дешифрированием понимается получение информации об инженерно-геологических условиях изучаемой территории путем выявления и распознавания на аэро- и космических снимках необходимых данных (тип рельефа, мезо- и микроформы рельефа, границы геоморфологических элементов, форма и разветвленность гидрографической сети, тектонические нарушения (рис. 36.1), область питания и транзита подземных вод, проявления опасных геологических процессов и др.).

При дешифрировании широко используются телевизионная, ска-нерная, тепловая (инфракрасная) и другие виды аэро- и космических съемок, осуществляемых с пилотируемых космических кораблей, орбитальных станций, искусственных спутников, а также с самолетов и вертолетов. В последнее время стали доступными материалы космических съемок очень высокого разрешения (до 2,0 м) (А. С. Викторов, 1999).

Аэровизуальные наблюдения ведутся при полетах вертолетов и легких самолетов, летающих со скоростью до 100–150 км/ч и высоте полета — от 50 до 1500 м. Наиболее эффективны они при обследовании значительных площадей и выборе конкурирующих вариантов



Рис. 36.1. Аэрофотоснимок антиклинальной складки (горный район):
 1 — песчаники; 2 — глины; 3 — песчаники и алевролиты; 4 — алевролиты;
 5 — мергели

в процессе инженерно-геологических рекогносцировок и съемок в труднодоступных и малоисследованных районах.

Дешифрирование аэро- и космоматериалов и аэровизуальные наблюдения предшествуют всем другим видам полевых инженерно-гео-

логических исследований. Их выполнение позволяет получить важную инженерно-геологическую информацию. Преимуществом аэрометодов является возможность наблюдений за динамикой изменения компонентов геологической среды под влиянием природно-техногенных факторов. Это достигается путем проведения повторных съемок.

Маршрутные наблюдения выполняют для изучения основных особенностей инженерно-геологических условий исследуемой территории. В ходе геологических маршрутов описывают обнажения горных пород, выходы подземных вод на поверхность, проявления опасных геологических процессов, типы рельефа и др. Количество геологических маршрутов устанавливают в зависимости от детальности изысканий, их назначения и сложности инженерно-геологических условий исследуемой территории.

§ 3. Буровые и горнопроходческие работы

Буровые и горнопроходческие работы являются важнейшей частью инженерно-геологических и гидрогеологических исследований. С помощью буровых скважин и горных выработок (шурфов, штолен и др.) выясняют геологическое строение и гидрогеологические условия строительной площадки на необходимую глубину, отбирают пробы грунтов и подземных вод, проводят опытные работы и стационарные наблюдения.

Бурение скважин является основным видом разведочных работ при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях.

Буровая скважина — цилиндрическая вертикальная выработка (реже наклонная) малого диаметра, выполняемая специальным буровым инструментом. В буровых скважинах различают устье (начало), стенки и забой или дно.

Сущность бурения заключается в постепенном и последовательном разрушении (или обуривании) породы на забое и извлечении ее на поверхность. Образцы породы, извлекаемые из скважин, называют буровым керном. Для изоляции водоносных горизонтов и предупреждения вывала пород со стенок скважин ствол скважины, т. е. выбуренное пространство, закрепляют обсадными трубами.

К преимуществам бурения относят: высокую скорость проходки скважин, возможность достижения больших глубин, механизацию спускоподъемных операций, мобильность буровых установок (рис. 36.2). Бурение имеет и недостатки: невозможность осмотра стенок скважины ввиду малого ее диаметра, небольшой размер образцов, необходимость промывки скважин при бурении и др.



Рис. 36.2. Самоходная буровая установка

Диаметр скважин, используемых в практике инженерно-геологических изысканий, обычно находится в пределах 33–325 мм. Для гидрогеологических целей бурят скважины большего диаметра. Глубина скважин определяется задачами исследований и для инженерных сооружений редко превышает 30–50 м. При поисках и разведке подземных вод для водоснабжения глубина скважин может достигать 800 м и более.

Бурение скважин производят буровым наконечником, который, соединяясь с бурильными трубами (штангами), создает буровой снаряд. Удары или вращение этого снаряда и передачу на него давления осуществляют буровыми станками, приводимыми в действие различными двигателями.

При инженерно-геологических исследованиях обычно применяют следующие виды бурения скважин: вращательно-колонковое, ударно-

канатное кольцевым и сплошным забоем, вибрационное и шнековое. Другие виды бурения, с помощью которых трудно отобрать керн, при инженерно-геологических работах широкого применения не находят.

Вращательно-колонковое бурение позволяет бурить скважины диаметром 73–219 мм почти во всех разновидностях пород, включая и скальные, глубиной до 100 м и более. Буровой снаряд состоит из пустотелой колонковой трубы длиной 0,5–4,5 м с коронкой и колонной бурильных штанг. При вращении бурового снаряда коронка колонковой трубы с зачеканенными в ней зубьями из твердых сплавов прорезает кольцевой канал в породе, т. е. выбуривает столбик породы — керн. Используются также дробовые и алмазные коронки. После заполнения колонковой трубы керном буровой снаряд отрывают от забоя и поднимают на поверхность. Затем отвинчивают буровую коронку и извлекают керн из колонковой трубы.

В глинистых породах для отбора проб грунта ненарушенной структуры (монолитов) используют наконечники специальной конструкции — грунтоносы, диаметром не менее 100–125 мм.

При колонковом бурении через бурильные трубы на забой подается глинистый раствор, вода или сжатый воздух. Буровой инструмент при этом охлаждается, а измельченная порода (шлам) выносится на поверхность в специальные отстойники.

Ударно-канатное бурение рекомендуется в районах с недостаточной геологической изученностью, так как позволяет вести тщательное описание горных пород. Различают ударно-канатное бурение сплошным забоем диаметром 127–325 мм с применением долот и желонки (крупнообломочные и песчаные обводненные грунты) и ударно-канатным кольцевым забоем диаметром 89–325 мм в песчаных и глинистых необводненных или слабообводненных.

Глубина бурения в скальных породах — до 100–150 м, в скальных — на большую глубину. Проходка ведется за счет сбрасывания на забой утяжеленного бурового снаряда (желонки, забивного стакана), подвешенного на канате, и последующего его подъема на поверхность вместе с породой. В галечниках и скальных породах на забой сбрасывается долото, а очистка забоя ведется желонкой.

Одним из наиболее производительных способов бурения является *вибробурение*, при котором буровой снаряд погружается в породу бла-

годаря вибрационным колебаниям. При помощи вибратора глинистые и песчаные обводненные породы проходят на глубину до 15–20 м. Следует помнить, что под влиянием вибрации глинистые грунты изменяют свою структуру и уплотняются.

Шнековое бурение характеризуется высокой механической скоростью при проходке скважин в песчано-глинистых грунтах на глубину до 30 м. Разрушение пород производится вращающимся долотом, а подъем их — шнеками, т. е. трубами, на поверхность которых приварена стальная спираль (рис. 36.3). При этом способе бурения качественное геологическое описание затруднительно.

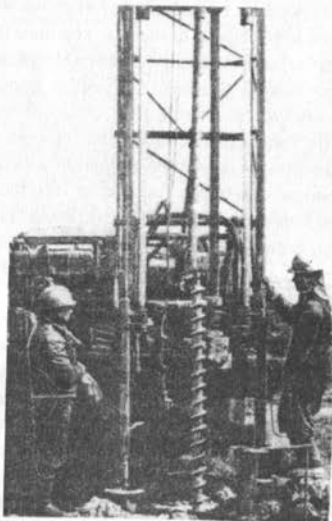


Рис. 36.3. Шнековое бурение

Бурение скважин в неустойчивых и водонасыщенных породах осложняется вследствие обваливания и оплывания стенок. Для их крепления применяют стальные обсадные трубы, которые опускают в скважину, после чего продолжают бурение наконечником уже мень-

шего диаметра. По окончании бурения обсадные трубы извлекают, а скважину ликвидируют путем тампонажа глиной или цементно-песчаным раствором.

Существенным преимуществом шнекового бурения является совмещение собственно бурения (разрушение породы на забое скважины) с транспортировкой породы с забоя без применения промывки или продувки. Наиболее достоверным с точки зрения геологического изучения является бурение с поинтервальной углубкой (на 1–2 м) и с подъемом снаряда из скважины.

Ручное ударно-вращательное бурение из-за низкой производительности и высокой трудоемкости применяется в крайне ограниченном объеме (труднодоступная местность, плотная городская застройка и др.). Ручным способом бурят скважины в рыхлых грунтах на глубину до 10–15 м, реже 30 м.

В настоящее время для проведения буровых работ в стесненных и труднодоступных местах широко используют легкие установки типа ББУ-000 «Опенок», позволяющие бурить вертикальные, горизонтальные и наклонные скважины глубиной до 50 м.

При гидрогеологических исследованиях бурят скважины разведочные, опытные, наблюдательные и разведочно-эксплуатационные. Скважины, предназначенные для забора воды, называют скважинами на воду, они отличаются от других большим диаметром, что связано со значительными размерами погружных водоподъемных средств.

Бурение скважин на воду осуществляется, в основном, ударно-канатным и роторным способом, реже вращательно-колонковым.

Роторный способ — это вращательное бурение сплошным забоем, с промывкой или продувкой воздухом, с вращателем (ротором) на поверхности. Роторное бурение используют для бурения скважин различной глубины (обычно более 150 м) на водоносные горизонты, ранее хорошо изученные и опробованные. Скорость бурения весьма высокая. Порода на забое разрушается полностью с помощью шарочечных долот. Для роторного бурения используют самоходные установки УРБ-2А, УРБ-3АМ (рис. 36.4), УРБ-4ПМ, а при бурении до 100 м — АВБ-3–100.

Проходка шурфов и других горных выработок. Наиболее распространенным видом горных выработок является шурф. При изыска-



Рис. 36.4. Самоходная буровая установка УРБ-3АМ

ниях применяют также другие выработки: расчистки, канавы, дудки, штольни и шахты (рис. 36.5).

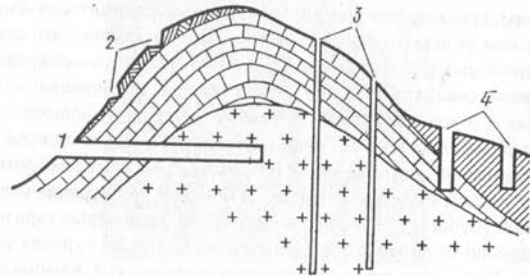


Рис. 36.5. Типы горных выработок:

1 — штольня; 2 — расчистки; 3 — скважины; 4 — шурфы

Шурф — вертикальная горная выработка прямоугольного или круглого сечения, проходима с поверхности максимально до глубины 20 м, реже более. Шурф круглого сечения называют дудкой.

Наиболее распространены на изысканиях мелкие шурфы глубиной до 3–5 м сечением 1×1,25 м. Обычно их проходят в песчаных и глинистых грунтах. Шурфы большого сечения (более 2 м²) выполняют для специальных опытных работ и при большой глубине шурфа. Шурф проходят путем углубления забоя и выброса грунта вначале лопатой, далее с помощью бады, поднимаемой воротком. В скальных породах шурф углубляют с использованием отбойных молотков и взрывных работ.

По мере углубления стенки шурфа необходимо укреплять, в противном случае возможно их обрушение. При проходке водонасыщенных пород организуют водоотлив. Глубокие шурфы обязательно проветривают.

Шурфы имеют большое значение при инженерно-геологических изысканиях для строительства. Они позволяют детально изучить геолого-литологический разрез участка, отобрать любые по размеру образцы, выполнить испытания грунтов штампами и другие полевые опытные работы. Недостатком шурфов является их высокая стоимость и трудоемкость работ, особенно в водонасыщенных и скальных породах.

В настоящее время находит применение механизированный способ проходки шурфов с помощью специальных шурфопроходческих установок, а также приспособленных для этих целей самоходных буровых установок УРБ-3АМ, УРБ-2А-2, УГБ-1ВС и др., оснащенных ковшовыми или шнековыми бурами. Средняя производительность установок 1,2–2,0 м/ч.

По окончании полевых работ шурфы тщательно засыпают, грунт утрамбовывают, а поверхность земли выравнивают.

На участках, сложенных крутопадающими слоями пород, проходят горизонтальные горные выработки: расчистки, канавы, штольни и шахты.

Расчистки — неглубокие выработки, применяемые для снятия рыхлого маломощного покрова делювия или элювия с наклонных поверхностей.

Канавы (траншеи) — узкие (до 0,8 м) и неглубокие (до 2 м) выработки, выполняемые вручную или с помощью технических средств с целью вскрытия коренных пород.

Дудка — вертикальная горная выработка круглого сечения диаметром до 1,0 м. Необходимость крепления стенок дудки, как правило, отсутствует.

Штольни — подземные горизонтальные выработки значительной длины, закладываемые на склонах и вскрывающие толщи горных пород в глубине массива. Их применяют обычно в скальных породах при изысканиях для строительства особо ответственных сооружений.

Шахты (разведочные) — вертикальные горные выработки, которые отличаются от шурфов значительно большими размерами. В практике инженерно-геологических изысканий глубина шахт достигает 30 м, а сечение 6 м².

Наблюдения при бурении скважин и проходке шурфов заключаются в замерах уровня воды и температуры, отборе проб пород, воды и других работах.

Для замера уровня воды в скважинах используют размеченные на метры тонкие тросы, на концах которых подвешивают различные приспособления (хлопушки, свистки и т. д.), при соприкосновении с водой эти приспособления подают сигнал (свист, хлопанье и т. д.) и наблюдатель по отметкам троса определяет глубину залегания воды от поверхности земли (рис. 36.6). Более точны электроуровнемеры, при соприкосновении датчика с водой электрическая цепь замыкается, стрелка гальванометра отклоняется, и по отметкам на тросе фиксируется положение уровня. Длительные наблюдения за изменением уровня воды ведут с помощью поплавковых измерителей, а для непрерывной регистрации уровня применяют специальные автоматические приборы.

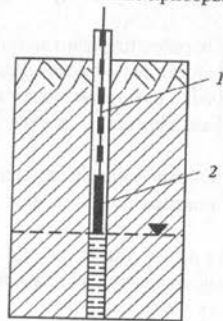


Рис. 36.6. Измерение уровня грунтовых вод в скважине мерным тросом с хлопушкой: 1 — мерный трос; 2 — хлопушка

Замеры уровня воды производят от одной точки у устья скважины с точностью $\pm 1,0$ см. В каждой скважине определяют глубину появления и установившийся уровень подземных вод.

Температура подземных вод замеряется ртутными термометрами, вмонтированными в металлическую оправу. Для отбора проб воды используют различные пробоотборники объемом от 0,5 до 3,0 л.

Наблюдения за поглощением промывочной жидкости и выходом керна позволяют предварительно оценить водопроницаемость пород в различных интервалах скважин. Интенсивное поглощение и малый выход керна свидетельствуют о трещиноватости, раздробленности пород и их возможной высокой водообильности.

При бурении водозаборных скважин предусматривают тщательную изоляцию намеченного к эксплуатации водоносного горизонта от других водоносных горизонтов и поверхностных загрязнений. Чаще всего для этого задавливают башмак колонны обсадных труб в водоупорные породы (рис. 36.7, а) или производят затрубную цементацию колонны труб (при роторном бурении) (рис. 36.7, б).

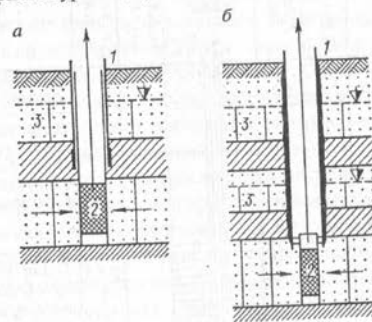


Рис. 36.7. Изоляция водоносных горизонтов при бурении скважин: а — при ударно-канатном бурении; б — при роторном бурении; 1 — обсадные трубы; 2 — фильтры; 3 — изолируемые водоносные горизонты

Качество изоляции водоносных горизонтов проверяют откачкой воды из скважины и наблюдением за положением уровня. Постоянство уровня воды указывает на надежность изоляции.

Геологическая документация буровых и горнопроходческих работ. Основными геологическими документами разведочных работ являются буровой журнал и журнал горных выработок. В журналах по мере бурения скважин и проходки шурфов подробно описывают состав и состояние вскрываемых пород, указывают глубину отбора проб породы и воды, приводят результаты наблюдений за появлением уровней подземных вод, выходом керна, качеством изоляции водоносных горизонтов и т. д. По данным буровых и горных журналов составляют разрезы (колонки) отдельных скважин и шурфов (рис. 36.8). Данные нескольких разрезов (колонок) объединяют в инженерно-геологические или гидрогеологические профили (разрезы), стадии построения которых показаны на рис. 36.9.

Скважина №1
Абс. отметка устья — 80,0 м

№ слоя	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность слоя, м	Разрез и конструкция скважины	Уровень подземных вод		Литологическое описание пород
		от	до			появляется	устойчивый	
1	alQ _{IX}	0.0	2.0	2.0				Глины серые, легкий средней плотности
2	alQ _{II}	2.0	8.0	6.0		4.0	4.0	Песок мелкозернистый, светло-серый, влажный, кварцевый, рыхлый, с глубины 4,0 м — водоносный
	alQ _{III}	8.0	13.0	5.0		9.5		Глина темно-серая, тугопластичная с тонкими прослойками песка
4	alQ _{IV}	13.0	18.0	5.0				Грабивно-галечниковые отложения с включением песка, водонасыщенные, плотные

Рис. 36.8. Геологическая колонка (разрез) буровой скважины

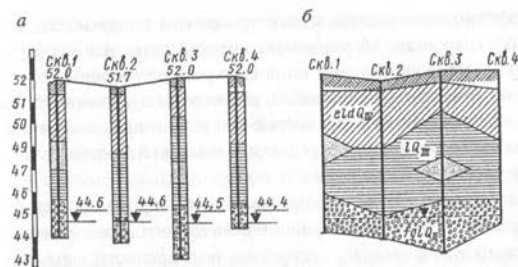


Рис. 36.9. Стадии построения геологического разреза:
а — начальная; б — конечная

§ 4. Геофизические исследования

Геофизические методы сопутствуют (или предшествуют) буровым и горнопроходческим работам и позволяют значительно сократить их объем, повысить полноту и качество исследований. В большинстве случаев их применяют как вспомогательные методы. Они помогают изучать геологический разрез горных пород, водоносные горизонты, а также геологические процессы и явления (карст, многолетнюю мерзлоту и др.).

Геофизические методы исследования основаны на различиях физических свойств горных пород (удельного электрического сопротивления, скорости распространения упругих сейсмических волн, радиоактивности, магнитной восприимчивости и др.). Изменение величин этих параметров по вертикали или в горизонтальном направлении свидетельствует о соответственном изменении состава и состояния горных пород и подземных вод. Эффективность геофизической разведки зависит от степени различия пород по физическим свойствам, а также от правильного сочетания ее с другими методами инженерно-геологических и гидрогеологических исследований.

Согласно Своду правил по инженерным изысканиям для строительства (СП 11-105-97, ч. VI), геофизические методы в зависимости от изучаемых физических полей подразделяются на электромагнитные (электроразведка), сейсмоакустические (сейсморазведка), магнитометрические, гравиметрические и др.

Геофизические исследования проводят с поверхности земли и в буровых скважинах. Метод геофизической разведки с воздуха (аэрогеофизика) пока не получил широкого распространения.

Геофизические исследования с поверхности земли. Наибольшее применение в практике инженерно-геологических изысканий нашли электроразведка, сейсморазведка и в меньшей степени магниторазведка и другие методы.

Электроразведка основана на исследовании искусственно создаваемого в массивах пород электрического поля. Каждая порода в зависимости от состава, состояния, водоносности характеризуется своим удельным электрическим сопротивлением. Чем больше разнятся эти удельные сопротивления между собой, тем точнее результаты электроразведки.

Электроразведка с поверхности земли применяется в двух модификациях: электроразведка и электропрофилирование.

При методе вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) приемные электроды *M* и *N* с включенным в их цепь потенциометром остаются неподвижными, а питающие электроды *A* и *B* последовательно перемещаются от центра зондирования (рис. 36.10). Чем больше расстояние между *A* и *B*, тем на большую глубину проникают токовые линии. Измеряя силу тока между питающими электродами *A* и *B* и разность потенциалов между приемными электродами *M* и *N*, определяют удельное сопротивление горных пород. Интерпретация кривой ВЭЗ позволяет установить смену пород и изменение их состояния в вертикальном направлении и построить геологический разрез.

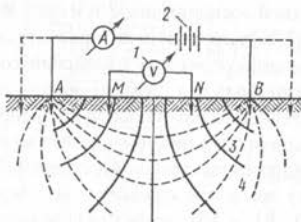


Рис. 36.10. Схема вертикального электрического зондирования (ВЭЗ): 1 — потенциометр; 2 — источник питания; *A*, *M*, *N* и *B* — электроды; 3 — эквипотенциальные линии; 4 — линии токов

Метод ВЭЗ широко используется для определения глубины залегания и мощности водоносных горизонтов, включая и глубокозалегающие артезианские воды.

При электропрофилировании (ЭП) по профилю перемещаются одновременно четыре электрода *AMNB* при неизменном расстоянии между ними. Это дает возможность изучить геологическое строение участка в горизонтальном направлении вдоль линии профиля. Методом ЭП определяют границы слоев горных пород и водоносных горизонтов, обнаруживают карстовые полости (рис. 36.11), обводненные трещиноватые зоны, линзы пресных вод среди соленых и др.

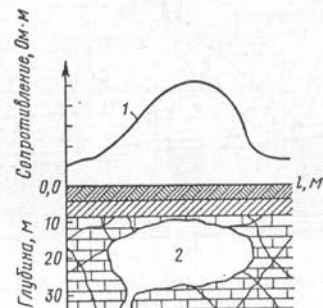


Рис. 36.11. Обнаружение карстовой полости с помощью электропрофилирования:

1 — кривая электропрофилирования; 2 — карстовая полость

Сейсморазведка основана на измерении скорости распространения упругих колебаний, искусственно возбуждаемых в горных породах (взрывами, ударами). Замерив время пробега упругой волны от точки возбуждения до сейсмоприемника, вычерчивают кривую — годограф, по которому рассчитывают скорость распространения волн в исследованных породах и строят сейсмогеологический разрез. С помощью микросейсмических установок, применяемых для малых глубин исследования, устанавливают глубину залегания скальных пород под наносами (рис. 36.12), выявляют погребенные речные долины, карстовые пустоты, уровень подземных вод, мощность талых

пород в вечной мерзлоте и т. д. В сложных сейсмических условиях этот метод недостаточно точен.

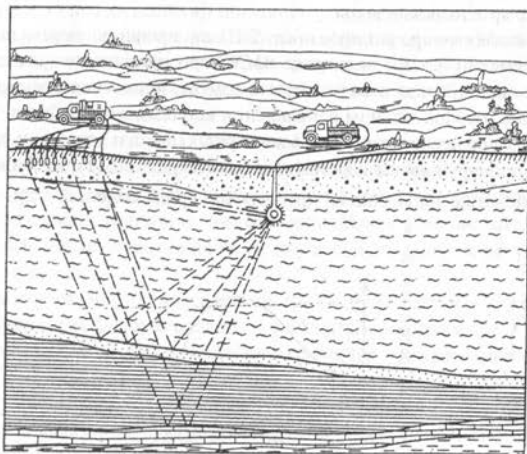


Рис. 36.12. Схема сейсморазведочных работ методом отраженных волн (по В.Н. Дахнову)

При изучении магматических горных пород, обладающих аномальными магнитными свойствами, и выявлении зон тектонических нарушений как вспомогательный метод применяют магниторазведку.

Геофизические исследования в буровых скважинах (шурфах и др.), проводимые для изучения геологического разреза горных пород, их водоносности и температуры воды, называют *каротажем*.

Различают электрический, радиоактивный, резистивметрический и другие виды каротажа.

Электрический каротаж основан на измерении вдоль ствола скважины кажущегося электрического сопротивления пород (метод КС) и потенциала естественного поля (метод ПС). Для этого один электрод перемещается по скважине, а второй располагают на поверхности; в образовавшейся электрической цепи измеряют силу тока.

Этими методами расчленяют толщу пород по литологическим признакам, выделяют пласты, насыщенные водой, и т. д.

Радиоактивным каротажем вдоль всего разреза скважины измеряют интенсивность естественного гамма-излучения горных пород (гамма-каротаж ГК) и вторичного гамма-излучения, возникающего в породах при их облучении нейтронами из источника, перемещаемого вдоль ствола скважины (нейтронный гамма-каротаж НГК). С помощью радиоактивного каротажа можно определить состав и состояние пород, а также некоторые их свойства: плотность, влажность, плотность сухого грунта и др.

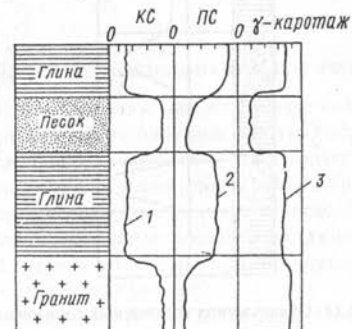


Рис. 36.13. Схематическая каротажная диаграмма: 1, 2 и 3 — кривые кажущегося сопротивления (КС); собственной поляризации (ПС) и радиоактивный каротаж (γ -каротаж)

В комплекс обязательных геофизических исследований в скважинах роторного бурения входят методы каротажа КС, ПС и ГК. Геологический и гидрогеологический разрез скважины устанавливают при сопоставлении кривых КС, ПС и ГК. Каротаж служит также для контроля геологической документации скважин.

Резистивметрический каротаж применяют для обнаружения мест притока (или поглощения) воды в скважине; определения скорости ее движения и др. После промывки и заполнения скважины раствором поваренной соли с помощью специального прибора резистивметра, опускаемого в скважину, следят за изменением удельного

электрического сопротивления раствора ρ . Места притока воды в скважину обнаруживают по увеличению величины сопротивления (рис. 36.14), так как подземные воды менее соленые, чем раствор поваренной соли, а следовательно, должны обладать большим электрическим сопротивлением. Скорость движения подземных вод определяется по интенсивности возрастания электрического сопротивления ρ в процессе замещения солевого раствора подземными водами.

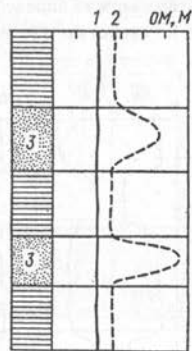


Рис. 36.14. Обнаружение водоносных горизонтов (3) по резистивиметровой кривой (ρ):
1 — кривая ρ в начале опыта; 2 — то же, в конце опыта

С помощью этих и других геофизических методов (как в скважинах, так и с поверхности земли) определяют также места коррозии подземных металлических конструкций, обнаруживают и оконтуривают загрязненные породы, устанавливают участки фильтрации воды через земляные плотины, оконтуривают талики в многолетнемерзлых породах и решают другие сложные вопросы.

Геофизические методы исследования постоянно развиваются и совершенствуются в направлении повышения точности и расширения области применения. Получают развитие новейшие методы изучения верхней части разреза (георадиолокационное профилирование, малоглубинное зондирование в ближней зоне (ЗСБ), аудио-МТЗ, ядерно-магнитный резонанс при поисках воды и др.). Они относятся

к скоростным, высокопроизводительным методам и с каждым годом приобретают все большее значение при решении разнообразных задач в инженерной геологии и гидрогеологии.

§ 5. Опытные полевые работы

Опытные работы подразделяют на полевые исследования грунтов и опытно-фильтрационные исследования. Первые применяют при инженерно-геологических исследованиях, вторые — при гидрогеологических.

Полевые исследования грунтов

За последние годы большое распространение получило изучение грунтов в полевых условиях (опытные работы), непосредственно в условиях их естественного залегания. Это сокращает количество разведочных выработок, объем лабораторных работ, а в ряде случаев дает возможность определить сжимаемость и другие свойства с точностью большей, чем при лабораторных работах. В состав опытных полевых работ входят испытания штампами, прессиометрия, зондирование, вращательный срез и другие методы.

Штамповые испытания (ГОСТ 20276–85) в шурфах и скважинах проводят при изысканиях под ответственные сооружения для получения надежных характеристик сжимаемости грунта. На жесткий штамп, устанавливаемый на дне шурфа (или скважины), передают различное удельное давление с помощью домкратов или тарированных грузов (рис. 36.15). На основании наблюдений строят графики зависимости осадки штампа от нагрузки $S = f(P)$ и по этим данным оценивают степень сжимаемости грунтов. Разновидностью штамповых испытаний является метод *прессиометрии*. Сущность этого скоростного (в отличие от длительных опытных нагрузок) метода состоит в обжатии и деформировании грунта в стенках скважины. По величине этих деформаций определяют показатели сжимаемости грунтов. Прессиометр имеет небольшой вес, транспортабелен и широко используется для определения сжимаемости слабых грунтов (илистых, мягкопластичных и др.). Для производства прессиометрических испытаний используют

прессиометры ЭВ-90/127, П-89 Урал ТИСИЗа, ИГП-21 и др. Схемы штамповых испытаний другими способами показаны на рис. 36.16 (по ГОСТ 20276-99).

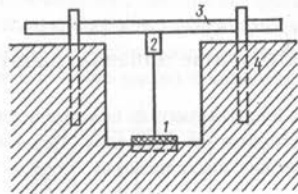


Рис. 36.15. Схема установки для испытания грунтов опытной нагрузкой:
1 — штамп; 2 — домкрат; 3 — балка; 4 — анкерная свая

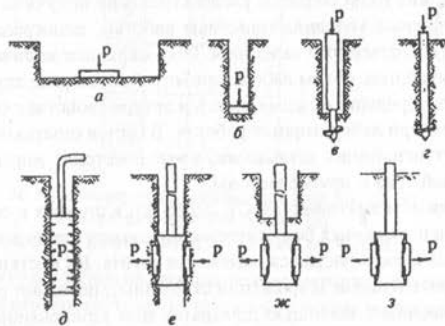


Рис. 36.16. Схемы штамповых испытаний грунта в скважинах и шурфах: а — плоским штампом в шурфе; б — то же в забое буровой скважины; в — винтовым штампом ниже забоя буровой скважины; г — то же в массиве; д — радиальным прессиометром; е — лопастным прессиометром в стенке скважины; ж — то же ниже забоя буровой скважины; з — то же в массиве.

Статическое и динамическое зондирование выполняют для расчленения толщи песчано-глинистых пород на глубину 15–20 м, изучения их состава и свойств, выделения ИГЭ, установления глубины залегания

грунтовых вод и для решения других задач, не прибегая к бурению скважин. Сущность метода заключается в определении сопротивления проникновению в грунт металлического наконечника (зонда).

По способу погружения наконечника различают зондирование динамическое и статическое. При динамическом зондировании (ГОСТ 19912-81) зонд погружают ударами стандартного груза, падающего с определенной высоты. Плотность и прочность грунтов характеризуется числом ударов, необходимых для забивки зонда на определенную глубину, или глубиной погружения конуса (S , см) от определенного числа ударов. При статическом зондировании (ГОСТ 2069-81) фиксируют усилие, необходимое для задавливания зонда. По этим данным строят кривую, наглядно показывающую, из каких слоев по плотности и прочности сложены исследуемые толщи пород (рис. 36.17).

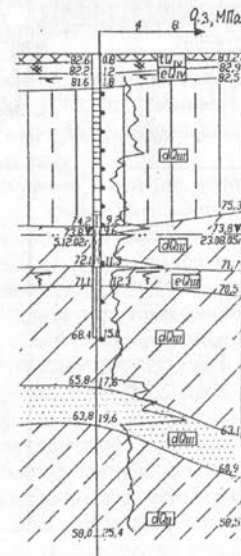


Рис. 36.17. График изменения с глубиной удельного сопротивления грунта q_3 , МПа, при статическом зондировании

Для производства динамического и статического зондирования применяют специальные зондировочные установки (С-979 конструкции ГПИ Фундаментпроекта, УПБ-18, конструкции ВСЕГИНГЕЦ марка СПК, С-832 и др.).

В практике изысканий широкое распространение получил скоростной *пенетрационно-каротажный метод* (статическое зондирование, совмещенное с радиоактивным каротажем) (рис. 36.18). По величине сопротивления грунта погружению конуса и замерам радиоактивности пород судят об их плотности, влажности, степени глинистости, глубине залегания грунтовых вод. Пенетрационно-каротажный метод значительно снижает стоимость инженерно-геологических изысканий. Производительность самоходной пенетрационно-каротажной станции — 150 м/смен.

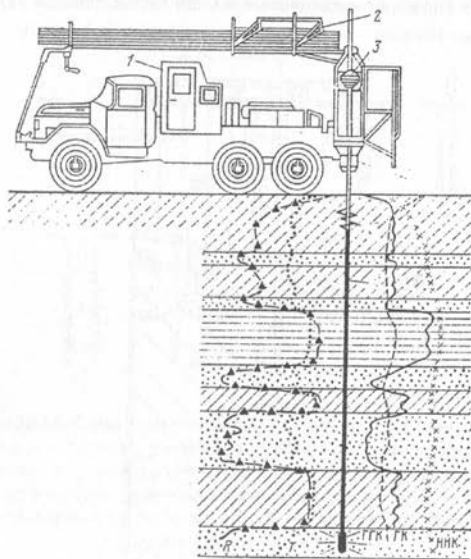


Рис. 36.18. Схема пенетрационно-каротажной станции, оборудованной зондом-датчиком: 1 — аппаратура; 2 — манипулятор; 3 — вдавливающее устройство

В иловатых и мягкопластичных глинистых породах сопротивление сдвигу определяют сдвигомером — крыльчаткой (*вращательный срез* по ГОСТ 21719-80). Прибор состоит из четырехлопастной крыльчатки, штанг и измерительного устройства. Крыльчатка штангой вдавливается в грунт, а затем поворачивается. Прочностные свойства грунтов оценивают по изменению приложенного крутящего момента M .

Прочностные характеристики крупнообломочных грунтов и грунтов с включением валунов и гальки оценивают с помощью среза *целиков грунта* (ГОСТ 23741-79).

Опытно-фильтрационные исследования

Важнейшей составной частью гидрогеологических работ являются опытнo-фильтрационные исследования. С их помощью определяют удельные дебиты скважин, водопроницаемость горных пород, взаимосвязь водоносных горизонтов, направление и скорость движения подземных вод. В состав опытных работ входят: откачки, нагнетания в скважины, наливы в шурфы, определения направления и скорости движения подземных вод.

Откачки воды из скважин (шурфов, колодцев и др.) проводят для определения их дебита, зависимости дебита от понижения, фильтрационных характеристик водоносных пород, радиуса влияния и др.

Откачка воды из скважин — наиболее распространенный вид опытнo-фильтрационных работ.

В зависимости от целевого назначения откачки воды из скважин подразделяют на пробные, опытные и опытнo-эксплуатационные.

Пробные откачки воды служат для предварительной оценки водоносности вскрытого горизонта. Продолжительность пробных откачек — 1-2 смены на одно максимально возможное понижение. Проводятся только из одиночных скважин.

Опытные откачки проводят при одном-трех понижениях уровня в течение нескольких суток с целью определения коэффициента фильтрации грунтов, удельного дебита и изменения химического состава подземных вод. Величина понижения уровня должна быть не более 0,5—0,75 мощности водоносного горизонта и не менее 1 м. Несколько

понижений уровня при откачке дают возможность построить график зависимости $Q = f(S)$.

Опытная откачка воды ведется как из одной скважины или шурфа (одиночная откачка), так и при наличии наблюдательных скважин (кустовая откачка, рис. 36.19).

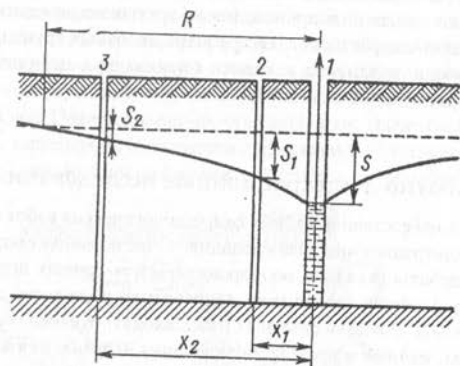


Рис. 36.19. Схема расположения одного луча скважин при опытной откачке:

1 — опытная скважина; 2, 3 — наблюдательные

Опытно-эксплуатационные откачки наиболее продолжительны по времени (2–3 месяца на одно максимально возможное понижение уровня). Цель откачек — установить возможное изменение качества воды и дебита скважин во времени на участках с неблагоприятными гидрогеологическими условиями (незначительные эксплуатационные запасы, близкое залегание соленых вод и др.).

Место расположения опытных кустов для откачек воды устанавливают по результатам гидрогеологической съемки. Опытные скважины оборудуют фильтрами (в неустойчивых породах), соответствующими водоподъемниками (насосы, эрлифты) и измерительными устройствами (мерными сосудами, расходомерами, уровнемерами и др.). В настоящее время созданы специальные самоходные агрегаты для производства откачек воды (рис. 36.20).

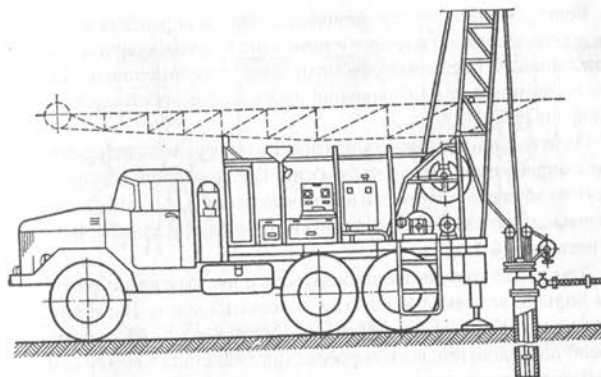


Рис. 36.20. Самоходный агрегат (АО) для откачек воды из скважин

По результатам откачек строят гидрогеологические разрезы по каждому лучу наблюдательных скважин, вычерчивают графики зависимости дебита и удельного дебита от времени и понижения, рассчитывают коэффициент фильтрации и др.

Коэффициент фильтрации при стабильном уровне воды и расходе (установившееся движение) по данным откачки в однородных пластах определяют по известным формулам Дюпюи:

$$k_{\phi} = 0,732Q \frac{\lg R - \lg r}{(2H - S)S}$$

для напорных вод

$$k_{\phi} = 0,366Q \frac{\lg R - \lg r}{mS}$$

По данным опытных откачек, проводимых при *неустановившемся движении* подземных вод, помимо коэффициента фильтрации k_{ϕ} определяют также коэффициент пьезопроводности a и коэффициент урнепроводности a_y .

Водопроницаемость трещиноватых горных пород (как водоносных, так и неводоносных) изучают с помощью **опытных нагнетаний воды в скважины**. В последние годы этот метод получил широкое развитие при изысканиях для захоронения промышленных стоков в глубокие водоносные горизонты.

Опытные нагнетания заключаются в подаче воды сверху под напором в опробуемый интервал скважин. О водопроницаемости пород судят по величине удельного водопоглощения q , т. е. по расходу воды литров в минуту на единицу длины интервала скважины при давлении нагнетания $\approx 0,1$ МПа.

Чем выше степень трещиноватости и пустотности горных пород, тем больше величина удельного водопоглощения. Нагнетание производят различными способами, из которых наиболее распространен способ последовательного опробования скважины «сверху вниз».

Для изучения водопроницаемости пород зоны аэрации, т. е. неводоносных пород, проводят **опытные наливы воды в шурфы**. Наиболее часто используют методы А. К. Болдырева и Н. С. Нестерова.

Метод Болдырева. В дне шурфа, пройденного на необходимую глубину, устраивают приямок диаметром до 0,5 м и глубиной 0,2–0,3 м (рис. 36.21, а). В приямок, стенки которого обычно закрепляют металлическим кольцом, заливается вода слоем 10 см. Уровень воды в кольце в течение всего опыта поддерживается постоянным. Через каждые 10–30 мин ведут замеры расхода воды на фильтрацию по водомерной трубке бака. Опыт проводят до стабилизации расхода воды, для чего в песках обычно требуется 10–20 ч, в суглинках и супесях — 24–48 ч.

В опытах принимается, что площадь поперечного сечения фильтрующегося из приемка потока равна площади кольца, а напорный градиент в условиях свободного просачивания близок к единице. Тогда коэффициент фильтрации пород определяется по закону Дарси

$$k_{\phi} = \frac{Q_{уст}}{Fl} = \frac{Q_{уст}}{F}$$

где $Q_{уст}$ — установившийся (стабилизировавшийся) расход, м³/сут; F — площадь кольца, м².

Метод Болдырева завышает истинные величины коэффициента фильтрации, так как не учитывает боковое растекание воды под дей-

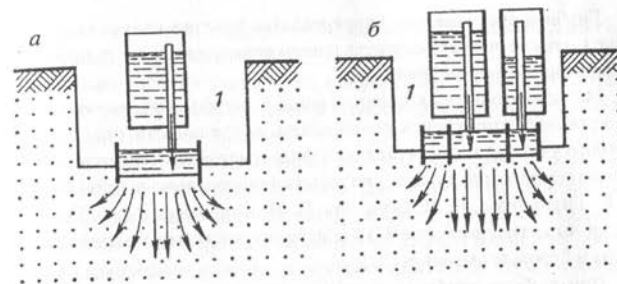


Рис. 36.21. Схема опытных наливов в шурфы:

а — по методу Болдырева; б — по методу Нестерова; 1 — шурф

твием капиллярных сил, поэтому этот метод применяется в крупнозернистых песках, гравийно-галечных, трещиноватых скальных и других породах с незначительным капиллярным давлением.

Для определения водопроницаемости суглинистых и супесчаных пород больше пригоден метод Нестерова (рис. 36.21, б). В этом опыте используют два металлических кольца, концентрически задавливаемых в дно шурфа. Предполагается, что вода из внешнего кольца движется вниз и в стороны, а из внутреннего — только вниз, поэтому все замеры расхода воды ведут только по внутреннему кольцу.

Коэффициент фильтрации определяют по формуле

$$k_{\phi} = Q_{уст} / F_{вн},$$

где $Q_{уст}$ — установившийся расход воды, м³/сут; $F_{вн}$ — площадь внутреннего кольца, м².

С учетом глубины просачивания и капиллярного подъема воды коэффициент фильтрации пород рассчитывают по уточненной формуле Н. Н. Биндемана

$$k_{\phi} = \frac{Q_{уст} l}{F(H_k + l + h)},$$

где l — глубина просачивания воды от дна шурфа; H_k — капиллярное давление; h — высота столба воды в кольце.

Глубина просачивания l определяется бурением двух скважин (до опыта и после опыта) и сопоставлением величин влажности по данным лабораторных определений.

Методику опытных наливов воды в шурфы продолжают совершенствовать, добиваясь сокращения длительности опыта, более точного учета условий растекания фильтрационного потока, влияния заземленного воздуха и сил капиллярного всасывания (методы Н. К. Гирицкого, Н. Н. Веригина, Н. Н. Биндемана и др.). При мощности зоны аэрации более 8–10 м используют также опытные наливов воды в буровые скважины.

При выборе наиболее рационального размещения дренажных устройств, зон санитарной охраны и т. д. важно знать пути и характер фильтрации подземных вод. С этой целью организуют опытные работы по определению направления и скорости движения подземных вод.

Направление подземного потока для небольшого участка можно установить, замерив уровень воды в трех скважинах (или шурфах), пройденных в вершинах треугольника со сторонами 50–100 м (рис. 36.22). Стороны треугольника делят на пропорциональные отрезки в соответствии с отметками уровней воды в скважинах. Затем точки с одинаковыми отметками соединяют, т. е. проводят гидроизогипсы для грунтовых или гидроизопьезы для напорных вод. Направление

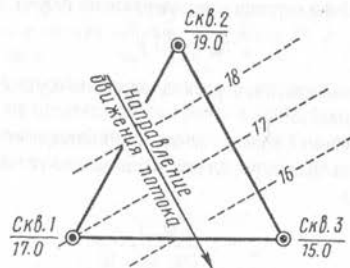


Рис. 36.22. Определение направления грунтового потока по трем скважинам

потока подземных вод определяют по линии, перпендикулярной гидроизогипсам (гидроизопьезам).

Для значительной территории направление подземного потока определяют по картам гидроизогипс (гидроизопьез), построенным по данным режимных наблюдений.

Скорость движения подземных вод устанавливают с помощью индикаторных и реже других методов. Для этого проходят пусковую скважину, а ниже по направлению подземного потока закладывают наблюдательные скважины. Расстояние между пусковой и наблюдательной скважинами зависит от водопроницаемости пород и колеблется от 1–2 м (в суглинках) до 20 м (в галечниках и трещиноватых породах).

В пусковую скважину запускают какой-либо индикатор (красители, электролиты, радиоактивные изотопы), а в наблюдательных скважинах следят за его появлением.

Скорость движения потока определяют по формуле

$$v_d = l / t,$$

где v_d — действительная скорость движения потока; l — расстояние между пусковой и наблюдательной скважинами; t — время хода индикатора.

В наблюдательных скважинах фиксируют не только время, отвечающее моменту появления индикатора, но и его максимальной концентрации. В первом случае рассчитывают максимальное значение v_d , во втором — среднее ее значение.

Применяемые в опытах индикаторы должны легко обнаруживаться, не обладать ядовитыми свойствами и не адсорбироваться. Для этих целей чаще всего используют флюоресцеин, метиленовую синьку, поваренную соль, радиоактивные изотопы (цезий-137, фосфор-23, йод-131) и др. Появление изотопов в наблюдательных скважинах фиксируют датчиками, опущенными в эти скважины, красителей и электролитов — калориметрическим (с помощью флюороскопа), химическим и электролитическим способами.

Для определения действительной скорости движения подземных вод применяют также геофизические методы (резистивиметрия, метод

заряженного тела). Используя формулу $v_d = k_{\phi} I / n_{\text{акт}}$, действительную скорость движения можно установить и по карте гидроизогипс. Для этого по карте определяют напорный градиент I и подставляют в формулу известные значения k_{ϕ} и активной пористости $n_{\text{акт}}$ водоносных пород.

§ 6. Стационарные наблюдения (локальный мониторинг компонентов геологической среды)

Стационарные наблюдения — это длительные (не менее 1 года) наблюдения за изменением отдельных компонентов геологической среды (грунтов, подземных вод, опасных геологических процессов) и техногенных условий. Заключаются они в выборе характерных участков для наблюдений, установке сети реперов, инструментальных наблюдений за их перемещением и т. д. Наблюдения ведут в основном в период эксплуатации ответственных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях.

Сводом правил по инженерным изысканиям для строительства (СП 11-105-97, ч. I) устанавливается, что стационарные наблюдения следует осуществлять с помощью геодезических и геофизических методов, зондирования, лабораторных испытаний и контрольно-измерительной аппаратуры.

Наиболее часто стационарные наблюдения производят за изменением уровня грунтовых вод, динамикой развития опасных геологических процессов (карста, оползней, селей и др.), осадками и деформациями зданий и сооружений, а также за температурным режимом многолетнемерзлых пород.

При гидрогеологических изысканиях для водоснабжения стационарные наблюдения за режимом подземных вод осуществляют на всех стадиях и этапах проектирования и строительства. Особенно они важны в период эксплуатации водозаборов, так как именно в этот период заметно изменяются дебит, уровни, химический состав и температура подземных вод.

По данным стационарных наблюдений в районе действующих водозаборов выбирают наиболее рациональный режим водоотбора, корректируют гидрогеологические прогнозы, анализируют опыт эксплуатации.

§ 7. Лабораторные исследования грунтов и подземных вод

Лабораторные исследования грунтов и подземных вод являются необходимой частью инженерно-геологических изысканий. В состав лабораторных работ входит отбор проб грунтов и подземных вод для анализа и лабораторные определения.

Лабораторные определения грунтов и обработка их результатов

Отбор проб грунтов производят из обнажений, буровых скважин, шурфов и других выработок. Пробы отбирают послойно, на всю глубину выработки, но не реже, чем через каждый 0,5–1,0 м. Наиболее детально опробуется слой, который будет несущим основанием сооружений. Из всех образцов, полученных при инженерно-геологических исследованиях, 5–10% отбирают для последующих лабораторных анализов.

Для инженерно-геологических работ обязателен отбор монолитов, т. е. образцов с сохранением их природного состояния и структуры. Монолиты отбирают из стенок шурфов и обнажений с помощью почвенного ножа. Они имеют форму, близкую к кубу с размерами от 10×10×10 см до 30×30×30 см. Из буровых скважин с помощью грунтоносов отбирают цилиндрические монолиты высотой 20–30 см. В глинистых грунтах твердой и полутвердой консистенции применяют **обуривающие грунтоносы**, а в грунтах пластичной консистенции — **вдавливаемые грунтоносы**. Монолиты немедленно парафинируют для сохранения их естественной влажности, т. е. туго обматывают слоем марли, пропитанной парафиноуглеродной смесью, подогретой до 60–65 °С (рис. 36.23). Монолиты предохраняют от сотрясения и промерзания и хранят не более 1,5 месяцев.

Помимо монолитов отбирают образцы нарушенной структуры в специальные мешочки. Вес образцов до 0,5 кг.

Общий порядок отбора, упаковки и транспортирования образцов пород для лабораторных исследований определяется действующим ГОСТ 12071-2000.

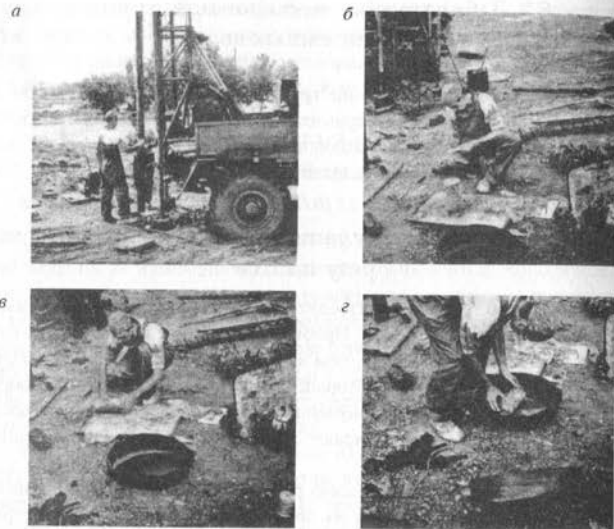


Рис. 36.23. Последовательные стадии (а, б, в и з) отбора монолита грунта из скважины и его парафинирование

Лабораторные определения грунтов выполняют как с помощью полевых лабораторий, так и в стационарных условиях.

Состав и объем лабораторных определений устанавливают в зависимости от номенклатурного вида грунтов (скальные, крупнообломочные, песчаные и глинистые), целевого назначения, характера и стадии выполняемых инженерно-геологических изысканий.

Лабораторные исследования должны обеспечить возможность статистической обработки результатов и получения: 1) нормативных и 2) расчетных значений грунтов в соответствии с ГОСТ 20522-96. Первые вычисляют для всех характеристик грунта, вторые — только для характеристик, используемых в расчетах.

Нормативное значение характеристик грунта (исключая угол внутреннего трения и удельное сцепление) X_n определяют как среднеарифметическое значение результатов частных определений X_i , вычисляемое по формуле:

$$X_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i,$$

где n — число определений.

Нормативные значения углов внутреннего трения φ и удельного сцепления c вычисляются по методу наименьших квадратов для всей совокупности опытных значений сопротивления срезу τ_i и нормального напряжения σ_i по формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \frac{n \sum_{i=1}^n \tau_i \sigma_i - \sum_{i=1}^n \tau_i \sum_{i=1}^n \sigma_i}{n \sum_{i=1}^n (\sigma_i)^2 - \left[\sum_{i=1}^n \sigma_i \right]^2},$$

$$c_i = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \tau_i - \operatorname{tg} \varphi_i \sum_{i=1}^n \sigma_i \right).$$

Расчетные значения характеристик грунта x вычисляют по формуле:

$$x = \frac{X_n}{\gamma_d},$$

где γ_d — коэффициент надежности по грунту.

Коэффициент надежности по грунту (γ_d) рассчитывают в зависимости от изменчивости характеристик грунта, числа определений и значения доверительной вероятности a , которое принимают в соответствии с рекомендациями норм проектирования различного вида сооружений.

Число определений характеристик грунтов в этих методах должно быть не менее шести.

Нормативные и расчетные значения характеристик грунта вычисляют для каждого инженерно-геологического элемента (ИГЭ). За ИГЭ принимают часть массива грунтов (слой, часть слоя, прослой, линза и т. д.), одного и того же происхождения, и литологического состава, которое может быть описано обобщенными показателями состава, состояния и свойств слагающего его грунта.

Смысл выделения ИГЭ заключается в том, что несущественные различия в составе, состоянии и свойствах грунтов различных слоев позволяют объединить их в отдельный ИГЭ, что существенно упрощает расчет основания сооружения.

При выделении ИГЭ необходимо учитывать не только геологические условия, но и расчетную схему сооружения, его тип и характер передаваемой на грунт нагрузки. Например, тонкие прослой глинистых грунтов при возможной работе грунтов основания на сдвиг следует выделять в отдельный ИГЭ или не выделять, если проектируемое сооружение рассчитывается только на сжатие.

На рис. 36.24 (по М. А. Солодухину, 1985) показан пример выделения ИГЭ на участке проектируемого сооружения на свайном

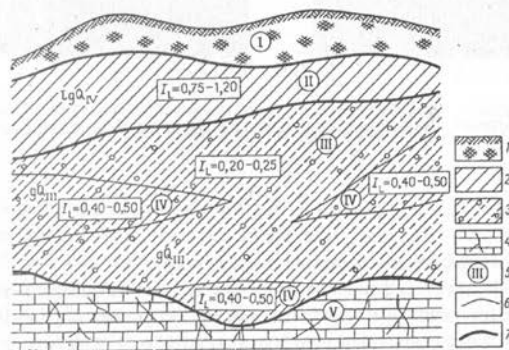


Рис. 36.24. Инженерно-геологические элементы (ИГЭ) на участке проектируемого сооружения на свайном фундаменте:
1 — торф; 2 — озерно-ледниковые суглинки; 3 — моренные суглинки;
4 — известняки; 5 — номер ИГЭ; 6 — границы ИГЭ; 7 — границы слоев;
 I_r — показатель текучести

фундаменте. В самостоятельные ИГЭ, совпадающие с границами литологических и генетических разновидностей, выделены торф, озерно-аллювиальные суглинки и известняки. По показателю текучести I_r моренные суглинки разделены на два ИГЭ, что соответствует принятой расчетной схеме свайных фундаментов. Согласно ГОСТ 20522-96, окончательное выделение ИГЭ проводят на основе оценки характера пространственной изменчивости характеристик грунтов и их коэффициента вариации. Для анализа глинистых грунтов используют физические характеристики (влажность, коэффициент пористости, характеристики пластичности, показатель текучести), а при достаточном количестве и механические. Для песчаных и крупнообломочных используются гранулометрический состав и влажность.

На основе установленных при инженерно-геологической схематизации ИГЭ на инженерно-геологических разрезах могут быть выделены расчетные грунтовые элементы (РГЭ). За РГЭ принимают некоторый объем грунта не обязательно одного и того же происхождения и вида, в пределах которого нормативные и расчетные характеристики по условиям применяемого расчетного метода могут быть постоянными или закономерно изменяющимися. РГЭ может включать несколько ИГЭ или состоять из одной его части.

Лабораторные исследования подземных вод

Отбор проб воды производят непосредственно из источника или с помощью пробоотборников. Отбор воды в зависимости от вида анализа (полный или сокращенный) и степени минерализации воды осуществляется из каждого встреченного при бурении водоносного горизонта, в начале и в конце откачки, при наблюдениях за режимом подземных вод и т. д.

С помощью лабораторных анализов воды определяют химический состав, а при использовании подземных вод для хозяйственно-питьевых целей дополнительно — бактериальный состав, содержание микроэлементов и радиоактивных компонентов. Стандартом (сокращенным) химическим анализом устанавливают содержание Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Fe^{2+} , NH_4 , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , CO_2 (своб.), общей и карбонатной жесткости, окисляемости,

сухого остатка, pH, а также характеризуют физические свойства воды. При полном анализе помимо указанных выше компонентов определяют K^+ , Mn, H_2S , а также мышьяк, фтор, свинец и другие микроэлементы, включая и радиоактивные. Окончательный перечень определений, выполняемых при полном анализе для питьевых целей, устанавливают в соответствии с требованиями санитарно-эпидемиологической службы.

Лабораторные исследования подземных вод выполняют непосредственно в полевых условиях и в стационарных лабораториях. Неустойчивые компоненты (агрессивную углекислоту, сероводород и др.), а также величину pH и физические свойства воды определяют на месте отбора пробы.

§ 8. Камеральные работы и составление технического отчета

Технический отчет является итогом инженерно-геологических изысканий, его заключительным этапом. По результатам изысканий под отдельные здания и сооружения допускается вместо технического отчета представлять заключение. По вопросам о возможности реконструкции строительного объекта также представляют техническое заключение.

Составление отчета (заключения) входит в состав камеральных работ, т. е. работ по обработке материалов, полученных при полевых и лабораторных исследованиях. Камеральная обработка материалов в процессе изысканий ведется непрерывно. При камеральной обработке полевых материалов и лабораторных исследований широко применяют программы персональных компьютеров. При построении инженерно-геологического разреза используется AutoCAD, при статистической обработке результатов исследований физических свойств грунтов — Excel и др. Различают текущую (предварительную) и окончательную камеральную обработку. В ходе последней производится уточнение и доработка представленных предварительных материалов, оформление текстовых и графических приложений и составление текста технического отчета.

Содержание и объем технических отчетов зависит от вида исследований, стадий и этапа проектно-изыскательских работ и сложности проектируемых сооружений. В состав отчета обычно входит три части: общая, специальная и приложения (текстовые, табличные и графические). Отчет передается заказчику, и на его основе выполняется необходимая проектная документация для строительства.

Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях.

Общая часть отчета содержит данные о природных условиях всего района исследований и позволяет получить о нем общее представление. Служит основой для специальной части отчета. Материалы, изложенные в общей части, помогают проектировщикам и экспертам оценить правильность выводов, сделанных в специальной части отчета.

Отчет начинается с «Введения», в котором указываются цели и задачи изысканий, местоположение района (площадок, трасс), виды и объем выполненных работ, состав исполнителей и др.

В главе «Физико-географические и техногенные условия» описываются климат, рельеф, почвы, поверхностные воды (количество осадков, глубины сезонного промерзания грунтов, направление ветров, отметки уровня воды водоемов и др.). Содержатся сведения о техногенных нагрузках, состоянии и эффективности инженерной защиты и др.

В главе «Геологическое строение» приводят сведения о геологической изученности района, возрасте, условиях залегания и распространении горных пород, тектонических особенностях и сейсмичности. Основные типы, формы и элементы рельефа, их связь с геологическим строением освещаются в главе «Геоморфология». В главе «Гидрогеологические условия» характеризуют основные типы подземных вод, описывают водоносные горизонты, условия их залегания и питания, режим подземных вод, химический состав и агрессивность их по отношению к бетону и металлам и т. д.

Подробно рассматривают «Геологические и инженерно-геологические процессы», которые могут оказать влияние на строительство и эксплуатацию зданий и сооружений.

Общая часть обычно заканчивается главой «Естественные строительные материалы», в которой приводят сведения о наличии местных строительных материалов (песка, камня и др.), условиях их залегания и разработки, дают оценку их качества и запасов.

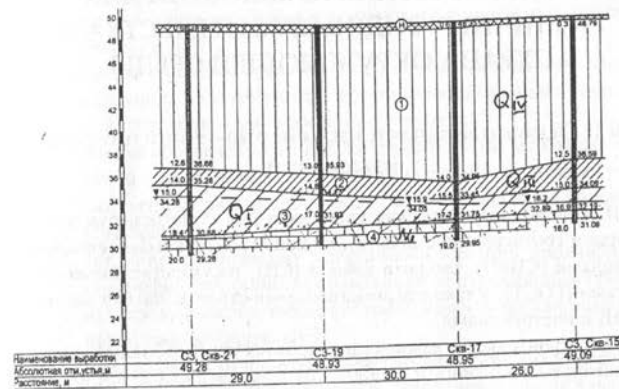
Специальная часть отчета, в свою очередь, состоит из ряда отдельных глав, посвященных детальному описанию строительной площадки (трассы). В этих главах излагают методику выполненных исследований, детально освещают инженерно-геологические условия площадки (трассы) и прогноз их изменений, состав, состояние и свойства грунтов по выделенным инженерно-геологическим элементам (ИГЭ), устанавливают наличие, распространение и условия залегания специфических грунтов, описывают геологические и инженерно-геологические процессы, приводят нормативные и расчетные характеристики грунтов, сравнивают между собой конкурирующие варианты площадок и трасс по степени благоприятности для строительного освоения, рекомендуют мероприятия по инженерной защите территории и проектируемых сооружений.

В «Заключении» (или в «Выводах и рекомендациях») приводят краткие результаты выполненных инженерно-геологических изысканий, рекомендации для принятия проектных решений, а также по проведению дальнейших изысканий или проведению специальных работ.

«Приложения». К отчету прилагаются различные графический материал в виде карт, колонок буровых скважин, инженерно-геологических разрезов (рис. 36.25), а также текстовые приложения (заявление—разрешение на производство инженерно-геологических работ, техническое задание заказчика, таблицы свойств грунтов, ведомости химических анализов воды и др.).

По материалам выполненных инженерно-геологических изысканий, главным образом по проектам крупных и ответственных сооружений в сложных геологических условиях, в необходимых случаях проводится государственная или ведомственная инженерно-геологическая экспертиза. В экспертном заключении оцениваются правомерность выводов и рекомендаций, содержащихся в отчете, и даются конкретные рекомендации по обеспечению нормальных условий эксплуатации зданий и сооружений.

I — I



Условные обозначения:

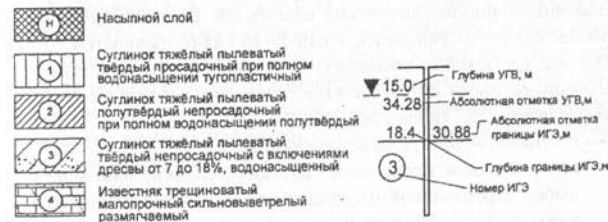


Рис. 36.25. Инженерно-геологический разрез по линии I—I

Глава 37. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

§ 1. Основные задачи инженерно-геологических изысканий

Инженерно-геологические изыскания для строительства выполняются в соответствии с действующими строительными нормами и правилами (СНиП), сводами правил (СП), государственными стандартами (ГОСТ), а также ведомственными строительными нормами (ВСН) и инструкциями.

При строительстве важнейшим является прогноз взаимодействия проектируемого здания и сооружения с геологической средой. Инженерно-геологические условия строительства на территории нашей страны очень разнообразны. Столь же многообразны назначение и конструктивные решения проектируемых объектов, поэтому производство инженерно-геологических изысканий для различных видов строительства имеет ряд своих, специфических особенностей.

Однако, несмотря на специфику отдельных видов строительства, основными задачами инженерно-геологических изысканий для всех видов строительства являются:

- составление программы изысканий;
- изучение инженерно-геологических условий, влияющих на выбор строительной площадки (трассы), размещения на них конкретных сооружений, расчета их конструкции, режима эксплуатации и др.;
- выделение инженерно-геологических элементов (ИГЭ) и получение нормативных и расчетных характеристик грунтов, необходимых для выбора несущего основания, типа и глубины заложения фундаментов, способов производства строительных работ и др.;
- получение необходимой для оптимального проектирования объекта исходной гидрогеологической информации (типы

и глубина залегания подземных вод, химический состав и агрессивность подземных вод, направление и скорость движения, фильтрационные параметры водоносных пластов, режим и др.);

- оценка и прогноз развития опасных геологических процессов, влияющих на устойчивость проектируемых зданий и сооружений; разработка мер инженерной защиты;
- оценка обеспеченности района строительства необходимыми местными строительными материалами и источниками водоснабжения; при недостаточности обеспеченности — поиски их и разведка;
- сведение к минимуму негативного влияния производства инженерно-геологических изысканий на окружающую природную среду (экологические системы, природные ландшафты и природные комплексы);
- представление отчетов об инженерно-геологических изысканиях для обоснования предпроектной, проектной и другой документации, с аргументированными выводами и рекомендациями, необходимыми текстовыми и графическими приложениями.

Инженерно-геологические изыскания должны проводиться с использованием современных методов и средств в минимально короткие сроки при минимальных затратах труда и материальных средств. В процессе производства изысканий должен выдерживаться принцип «обязательности координированной и равноправной деятельности и совместных решений инженера-геолога, проектировщика и строителя» (Г. С. Золотарев, 1990).

§ 2. Инженерно-геологические изыскания и охрана окружающей среды

Согласно СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства», при выполнении инженерно-геологических и других видов изысканий необходимо осуществлять мероприятия по охране окружающей среды и исключению ее загрязнения.

Как известно, в процессе проведения инженерно-геологических изысканий широко используются разнообразные технические средства

и механизмы: самоходные буровые установки и агрегаты, различные транспортные средства — автомобили, тракторы и др., погрузочные и подъемные устройства и т. д.

С их помощью бурятся скважины, проходятся горные выработки (шурфы, штольни, дудки и др.), ведутся опытные работы, прокладываются подъездные пути и т. д., которые могут оказывать существенное негативное влияние на естественные экологические системы, природные ландшафты и природные комплексы.

Поэтому строительными нормами и правилами (СНиП) и другими документами, например, СП 11-105-97, ч. I—IV, предусматривается, что при инженерно-геологических изысканиях, особенно в районах со сложными инженерно-геологическими условиями, должны строго соблюдаться требования по охране природы, предусматриваться и осуществляться мероприятия, не допускающие нарушения сложившихся природных условий буровыми, опытно-фильтрационными и другими работами, которые могут вызвать активизацию карста, оползней и других процессов, образование провалов и оседаний земной поверхности.

Отрицательное (негативное) воздействие инженерно-геологических изысканий на окружающую природную среду может проявляться и в других акциях: нарушении почвенного покрова и его загрязнении, загрязнении атмосферного воздуха отработанными газами транспортных средств и двигателей буровых установок, загрязнении подземных и поверхностных вод горюче-смазочными материалами и химическими реактивами, используемыми при буровых и опытных работах, истощении подземных вод при неконтролируемом самоизливе артезианских скважин и др.

Все скважины, шурфы и другие выработки, пройденные в процессе инженерно-геологических изысканий и не переданные заказчику для проведения стационарных наблюдений, подлежат обязательной ликвидации тампонажем цементным раствором или засыпкой местным глинистым грунтом. Земли, на которых производились буровые, опытные и другие работы, должны быть рекультивированы с восстановлением почвенного слоя, а в лесопарковых зонах — дернового покрова.

Во всех случаях при проведении инженерно-геологических изысканий необходимо стремиться свести к минимуму наносимый ими ущерб окружающей среде. Проектировщик (строитель, эксплуатационник)

должен на основе данных, полученных в ходе инженерно-геологических изысканий, предусмотреть мероприятия, которые в максимально возможной степени предотвратили бы негативное влияние проектируемого объекта на окружающую среду как в процессе строительства, так и при последующей эксплуатации. Экологическое обоснование этих мероприятий и способы их реализации излагаются в специальных руководствах по охране окружающей среды в строительстве.

Глава 38. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ И ИХ РЕКОНСТРУКЦИИ

Строительство промышленных и гражданских зданий и сооружений в нашей стране носит массовый характер и отличается исключительным разнообразием, плотностью размещения, использованием подземного пространства, многоэтажностью застройки, сложностью инженерной инфраструктуры и другими особенностями.

Инженерно-геологические изыскания для промышленно-гражданского строительства на этапе **предпроектных работ** проводятся для крупных и ответственных объектов. Начинаются они со сбора всех имеющихся по данному району материалов по геоморфологии, геологии, гидрогеологии и инженерной геологии.

Собранные материалы изысканий прошлых лет обобщают в виде краткого отчета, в котором дается предварительное заключение об инженерно-геологических условиях строительства проектируемого объекта.

При недостаточном объеме архивных данных и в сложных инженерно-геологических условиях в районе работ проводится рекогносцировка и инженерно-геологическая съемка, на основании которых составляется схематическая инженерно-геологическая карта. Инженерно-геологическая съемка сопровождается необходимыми картировочными работами (бурением скважин и проходкой шурфов, геофизическими исследованиями, опытными полевыми работами и др.).

Инженерно-геологические изыскания на предпроектном этапе позволяют дать оценку инженерно-геологическим условиям территории при различных вариантах расположения строительных площадок с рекомендацией лучшего варианта. Основная цель работ — выбор строительной площадки.

Стадия проекта. Инженерно-геологические изыскания на выбранной площадке должны дать необходимый материал для принятия окончательного варианта компоновки объекта, а также для решения всех конструктивных и иных проектных решений. Инженерно-геологические изыскания должны быть достаточными для выделения в плане и по глубине инженерно-геологических элементов по ГОСТ 20522-96, с определением нормативных и расчетных значений грунтов, установления гидрогеологических параметров, оценки интенсивности развития опасных геологических процессов и др.

В состав работ на стадии проекта входят: 1) инженерно-геологическая съемка территории площадки в масштабах 1:2000–1:5000. При проектировании уникальных зданий и сооружений и в сложных инженерно-геологических условиях съемки выполняются обычно в более крупных масштабах 1:1000–1:500, т. е. с большей детальностью; 2) бурение скважин и проходка шурфов; 3) полевые исследования грунтов (статическое и динамическое зондирование, испытания штампами и др.); 4) гидрогеологические исследования (оценка водопроницаемости грунтов методом откачек, определение химического состава, агрессивности к бетону и коррозионной активности к металлам и др.); 5) стационарные наблюдения за изменением отдельных факторов инженерно-геологических условий; 6) лабораторные исследования и 7) камеральные работы и составление отчета.

На стадии рабочей документации инженерно-геологические изыскания должны обеспечивать детализацию и уточнение инженерно-геологических условий на конкретных участках размещения проектируемых зданий и сооружений.

Состав и объемы инженерно-геологических изысканий определяются видом (назначением) зданий и сооружений, уровнем их ответственности, сложностью инженерно-геологических условий и степенью геологической изученности района.

Наибольшее внимание при изысканиях на стадиях проектирования уделяют бурению скважин и проходке шурфов.

Разведочные выработки (скважины и шурфы) располагают по контурам или осям проектируемых зданий и сооружений (рис. 38.1), а также на границах геоморфологических элементов. Расстояние между выработками изменяется от 20 до 100 м (табл. 38.1, по СП 11-105-97, ч. I).

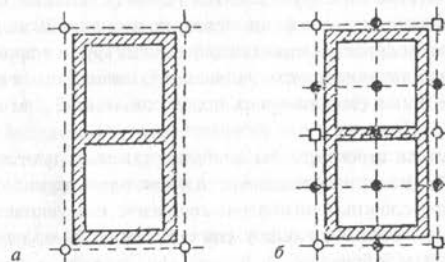


Рис. 38.1. Схема расположения скважин на участке проектируемого здания в простых (а) и сложных (б) геологических условиях

Таблица 38.1

Категория сложности инженерно-геологических условий	Расстояние между разведочными выработками для зданий и сооружений I и II уровней ответственности, м	
	I	II
I	75–50	100–75
II	40–30	50–40
III	25–20	30–25

Общее количество скважин и шурфов в пределах контура каждого здания и сооружения должно быть, как правило, не менее 3, а для особо ответственных — не менее 4–5.

Глубина разведочных выработок должна превышать величину сжимаемой толщи грунтов оснований на 1–2 м. При отсутствии данных о сжимаемой толще глубину выработок принимают в зависимости от типов фундаментов и нагрузок на них, согласно таблицам, приведенным в СП 11-105-97, ч. I. Например, для проектируемых 4–6-этажных

зданий на ленточных фундаментах глубина скважин от подошвы фундамента должна составлять 9–12 м, при 7–10 этажах — 12–15 м.

Глубину скважин для свайных фундаментов принимают ниже проектируемой глубины погружения свай не менее чем на 5 м (СНиП 2.02.03–85).

При плитном типе фундаментов глубину скважин принимают равной половине ширины фундамента, но не менее 20 м.

В районах распространения специфических грунтов примерно одна треть скважин должна пройти их на полную мощность, а на участках развития опасных геологических процессов — на 3–5 м ниже зоны их активного развития.

На участках строительства наиболее тяжелых и ответственных сооружений, таких как доменные печи и некоторые другие уникальные объекты, при сложных инженерно-геологических условиях глубина выработка может значительно увеличиваться до 30 м, а в отдельных случаях до 50 м и более.

На стадии рабочей документации объем и характер инженерно-геологических изысканий для промышленного и гражданского строительства может значительно различаться в зависимости от предполагаемых типов оснований и фундаментов (естественные основания, свайные фундаменты, объекты с фундаментами при динамических нагрузках).

Объекты на *естественном основании*. Инженерно-геологические изыскания должны освещать геологию участка на глубину всей активной зоны воздействия здания (сооружения) на грунты основания. При выборе в качестве оснований скальных и полускальных грунтов необходимо установить глубину залегания их кровли, которая очень изменчива. При нескальных основаниях для определения глубины заложения фундаментов необходимо знать глубину промерзания грунтов. Определяются состав и свойства грунтов всех слоев активной зоны и прочностные показатели слоя, на который будет опираться фундамент.

Объекты на *свайных фундаментах*. Инженерно-геологические изыскания должны обеспечить решение следующих вопросов: выбор длины свай, для чего выявляется слой, на который можно опереть сваи; несущую способность свай; воздействие на свайное поле грунтовых вод; условия погружения свай и др.

Объекты с фундаментами при *динамических нагрузках*. Во время инженерно-геологических изысканий особое внимание уделяется прогнозу возможного изменения свойств грунтов при вибрации, особенно песков неплотного сложения и разжижающихся глин. Наиболее опасным является разжижение и выпор из-под фундаментов грунтов оснований. В таких сложных инженерно-геологических условиях необходимы дополнительные разведочные скважины и шурфы с отбором образцов грунтов для тщательного изучения состава и свойств на всю глубину активной зоны. Тщательно также изучаются слабые грунты (торфянистые, илистые и т. п.), которые требуют себе замены на песчаные подушки или искусственного укрепления. Изучаются состав и свойства насыпных грунтов, так как строительство на насыпных грунтах с содержанием гумуса, древесного и органического мусора не допускается.

Инженерно-геологические изыскания при проектировании промышленных и гражданских зданий и сооружений могут быть продолжены на стадиях строительства, эксплуатации, реконструкции и ликвидации объектов. Ниже более подробно рассмотрим инженерно-геологические изыскания при реконструкции объектов.

Инженерно-геологические изыскания для обоснования проектов реконструкции зданий и сооружений

В последние годы в нашей стране наметилась тенденция роста капитальных вложений в реконструкцию и строительство зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки. К сожалению, даже в сложных инженерно-геологических условиях у новых владельцев аварийно-деформированных зданий или зданий, подлежащих полной реконструкции, нередко не находится средств на усиление оснований и фундаментов и выполнение других работ, в силу их большой сложности и высокой стоимости. В этих условиях, во избежание аварийных ситуаций, необходим ответственный подход всех участников инвестиционного процесса. Это относится и к определению видов и минимально необходимых объемов инженерно-геологических изысканий, и к строгому выполнению всех конструктивных решений и мероприятий для обеспечения надежности объекта реконструкции.

Согласно СП 11-105-97, часть V «Правила производства работ в районах с особыми природно-техногенными условиями», реконструкция в зависимости от состава и намечаемых строительных работ подразделяется на:

малую — капитальный ремонт здания, пристройка дополнительных выносных помещений (лоджий), замена отдельных видов технологического оборудования; инженерно-геологические изыскания не выполняются при условии увеличения нагрузки на основание не более 10% от существующей;

среднюю — частичная перестройка существующего здания и сооружения, возведение отдельных надстроек (мансард), замена подкрановых балок, стальных колонн и другого оборудования; инженерно-геологические изыскания выполняются на ограниченных участках территории объекта;

полную — надстройка дополнительных этажей, снос аварийного здания и строительство новых зданий и сооружений взамен ликвидируемых; инженерно-геологические изыскания выполняются в полном объеме на всей территории объекта проектируемой реконструкции.

В техническом задании на изыскания для реконструкции в дополнение к обычным данным следует приводить сведения о существующем состоянии и предстоящих изменениях строительных конструкций, типе реконструкции (средней или полной), данные о наблюдениях за осадками и деформациями зданий, прикладывать чертежи фундаментов и др.

Следует учитывать, что предусмотренные программой состав и объемы инженерно-геологических работ могут в процессе их выполнения подвергаться корректировке с учетом установленной категории состояния здания или сооружения (нормальное, удовлетворительное, неудовлетворительное, аварийное).

В простых инженерно-геологических условиях и для средней реконструкции зданий и сооружений инженерно-геологические изыскания проводят в один этап, не разделяя их по стадиям, а в сложных условиях и полной реконструкции ответственных объектов постадийно: 1) для разработки предпроектной документации; 2) проекта и 3) рабочей документации.

Вначале строители проводят обследование состояния зданий и сооружений, их фундаментов, а инженеры-геологи изучают геоло-

гические условия застроенного участка, исследуют состав и свойства грунтов, гидрогеологические условия. В том случае, если сохранился проект здания (сооружения) и материалы прежних инженерно-геологических изысканий, объем работ для средней реконструкции может быть минимальным. Работа сводится лишь к отбору монолитов грунта для лабораторных анализов и проверке состояния конструкций здания. При полной реконструкции ответственных зданий инженерно-геологические работы необходимо выполнять в полном объеме (сбор и анализ архивных материалов, бурение скважин и проходка шурфов, геофизические исследования, полевые опытные исследования грунтов (статическое и динамическое зондирование, вращательный срез и др.), лабораторные исследования грунтов и подземных вод, а также материала фундаментов, обследование свай и уточнение несущей способности грунтов).

Количество разведочных выработок и их глубины определяются размерами зданий (сооружений), а также сложностью геологического строения площадки. Так, например, глубину скважины (h) можно определить по формуле

$$h = h_1 + kb + c,$$

где h_1 — глубина заложения фундамента, м; k — глубина активной зоны основания; b — максимальная ширина подошвы фундамента, м; c — постоянная величина, равная для зданий до трех этажей — 2, свыше трех этажей — 3. Буровые скважины располагают вокруг здания (сооружения), а шурфы по характерным его сечениям — около фундаментов. Глубина шурфов должна быть ниже подошвы фундаментов на 0,5–1,0 м.

Значительной эффективностью обследования оснований под фундаментами отличается современный метод зондирования грунтов с помощью лопастного зонда (вращательный срез) (рис. 38.2).

Помимо традиционных геофизических методов (электроразведка, сейсморазведка и др.), согласно СП 11-105-97, ч. IV, при изысканиях под реконструкцию может быть использован новейший метод радиолокационного зондирования с помощью георадара.

Используя георадар (переносной импульсный радиолокатор), можно выявлять засыпанные подвалы, подземные полости, просвечивать грунтовый массив под фундаментами существующих зданий, опре-

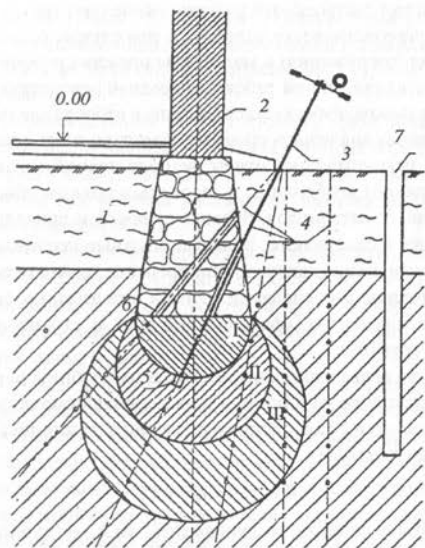


Рис. 38.2. Зондирование лопастным зондом грунтов в основании фундамента (по В.М. Улицкому и др., 2002):

1 — фундамент; 2 — стена; 3 — зонд; 4 — направления внедрения зонда; 5 — лопастной наконечник; 6 — сквозное отверстие в фундаменте; 7 — скважина для отбора проб; I, II, III — зоны разной степени уплотнения-упрочнения

делять глубины заложения свай дренажных систем и др. Ориентировочная глубина зондирования георадаром грунтовой толщи составляет для песков 25–30 м, для глинистых грунтов 8–10 м.

Состав инженерно-геологических изысканий под реконструкцию значительно усложняется, а объемы их резко увеличиваются в случаях, если реконструируемое здание находится на территории со сложными инженерно-геологическими условиями (специфические грунты, опасные геологические процессы и др.).

В условиях плотной городской застройки необходимым условием успешного осуществления реконструкции является организация **геотехнического мониторинга**. Под этим термином понимается система комплексных наблюдений за состоянием самого реконструируемого здания, а также его основания и фундаментов, окружающих сооружений, изменения уровня подземных вод и др.

По результатам выполненных работ составляется **технический отчет** (заключение), в котором дается инженерно-геологическое обоснование следующих возможных видов строительных работ: надстройки, закрепления грунтов оснований зданий и сооружений, усиления оснований и фундаментов, возведения на старых фундаментах новых зданий и сооружений, прокладки новых инженерных коммуникаций и др. На основании этих данных разрабатывается проект реконструкции здания, фундаментов и основания, определяется технология строительных работ.

В заключение отметим, что промышленные и гражданские здания и сооружения представляют собой сложный инженерный комплекс, взаимодействующий с трубопроводами, подъездными и внутризаводскими дорогами, линиями связи и другими объектами, расположенными в зоне их размещения. Поэтому параллельно с инженерно-геологическими изысканиями и проектированием основного сооружения выполняют аналогичные работы и для всей взаимодействующей инженерной инфраструктуры.

Глава 39. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Инженерно-геологические изыскания для дорожного строительства проводятся с целью получения исходных данных для проектирования трассы, земельного полотна, искусственных сооружений (включая мостовые переходы), станционных узлов, рабочих поселков и др. В задачу изысканий входят также поиски и разведка местных строительных материалов и источников водоснабжения.

Выполняются эти изыскания специализированными проектно-изыскательскими институтами, а на эксплуатируемых дорогах подразделениями службы пути и ведомственными организациями.

К инженерно-геологическому обоснованию проектирования автомобильных и железных дорог предъявляются повышенные требования, учитывая большую их протяженность при малой ширине полосы изысканий и высокую чувствительность к возникающим изменениям геологической среды. Особенно трудоемки и ответственны инженерно-геологические изыскания под новые автомобильные и железные дороги в районах распространения многолетней мерзлоты, в сейсмически активных зонах, при наличии заболоченных территорий, на склонах с оползнями, осыпями, снежными лавинами и др.

Инженерно-геологические изыскания для строительства автомобильных и железных дорог ведутся на стадиях: предпроектных работ (для крупных и сложных объектов), проекта и рабочей документации.

На стадии предпроектных работ для обоснования строительства новой дороги или реконструкции существующей в задачу инженерно-геологических изысканий входит получение информации, необходимой для выбора наиболее оптимального направления трассы, а также размещения на местности мостовых переходов, выемок, насыпей, тоннелей и других объектов. Все технически важные решения в дальнейшем проектировании дороги должны быть приняты уже на этой стадии работ.

В состав работ входят сбор и обработка имеющихся архивных и опубликованных работ, дешифрирование аэро- и космоснимков, аэровизуальные наблюдения (при необходимости). Для крупных объектов и в сложных инженерно-геологических условиях проводится рекогносцировочное обследование и инженерно-геологическая съемка с сопутствующими ей геофизическими, буровыми и опытными работами (в небольшом объеме). Съемкой должны быть охвачены не только районы намеченных вариантов трасс дороги, но и прилегающие территории. Это важно для обоснования защитных мероприятий от опасных геологических процессов, имеющих развитие вблизи трассы дороги.

В результате проведенных работ составляется отчет, включающий схематическую инженерно-геологическую карту района в масштабе 1:100 000–1:200 000, с характеристикой вариантов трасс дорог и обоснованием выбранного варианта.

Инженерно-геологические изыскания на стадии проекта проводятся по выбранному варианту трассы в полосе шириной от 0,2 до 0,5 км. Детально изучается не только трасса дороги, но и участки размещения мест индивидуального проектирования (глубокие выемки, высокие насыпи, искусственные сооружения и др.).

В состав инженерно-геологических работ входят: 1) инженерно-геологическая съемка; 2) бурение скважин и проходка горных выработок; 3) опытные работы; 4) стационарные наблюдения; 5) лабораторные исследования и 6) камеральные работы.

Буровые скважины при инженерно-геологической съемке проходят по всей проектируемой трассе дороги с расстояниями между ними 350–500 м и глубиной 3–5 м (СП 11-105-97, ч. I).

На участках со сложными инженерно-геологическими условиями (оползневые склоны, заболоченные участки и др.) предусматриваются отдельные поперечники из 3–5 скважин, а также уменьшаются расстояния между ними и увеличивается их глубина (рис. 39.1, Л. М. Пешковский, Т. М. Перескокова, 1982).

На участках трасс линейных сооружений индивидуального проектирования (искусственные сооружения, выемки, насыпи и др.) размещение и глубина скважин принимается в соответствии с табл. 39.1 по СП 11-105-97, ч. I.

Глубину скважин при высоте насыпей до 12 м принимают 3–5 м на слабосжимаемых и 10–15 м на сильносжимаемых грунтах. Для выемок — на 1–3 м ниже глубины сезонного промерзания (от дна выемки).

Для инженерно-геологического обоснования проекта автомобильной или железной дороги по результатам выполненных работ представляют следующие необходимые материалы: 1) инженерно-геологические карты масштаба 1:2000–1:10 000 полосы вдоль трассы дороги шириной 0,3–0,5 км и участков, на которых земляное полотно будет возводиться по индивидуальным проектам (высокие насыпи, глубокие выемки, искусственные сооружения); 2) инженерно-геологические разрезы по оси земляного полотна дороги и на участках индивидуального проектирования; 3) ведомости нормативных и расчетных показателей свойств грунтов по каждому выделенному ИГЭ; 4) данные гидрогеологического изучения трассы дороги с указанием мест водозаборов, размещения дренажных систем и др.; 5) материалы по обеспечению строящейся дороги естественными строительными материалами (дан-

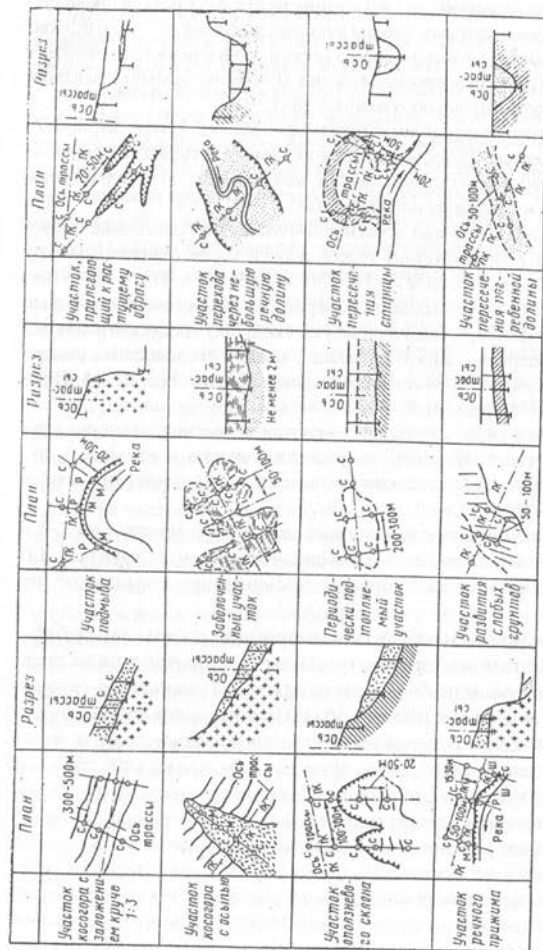


Рис. 39.1. Размещение и глубина скважин при изысканиях для дорожного строительства на участках со сложными инженерно-геологическими условиями

Таблица 39.1

Размещение скважин по оси трассы и на поперечниках

Сооружения	Расстояние между скважинами		
	по оси трассы, м	на поперечниках, м	расстояние между поперечниками, м
Насыпи и выемки высотой (глубиной)			
До 12 м	100-300	25-50	100-300
Более 12 м	50-100	10-25	50-100
Искусственные сооружения при переходах трасс через водотоки, овраги			
Мосты, путепроводы, эстакады и др.	В местах заложения опор по 1-2 скважине глубиной 6-8 м	—	—
Водопропускные трубы	В точках пересечения с осью трубы	10-25	—

ные об их месторождениях, включая показатели качества и запасы полезного ископаемого, условия вскрытия и разработки).

Инженерно-геологические изыскания на стадии рабочей документации проводятся для уточнения инженерно-геологических условий трассы, а также на участках перетрассировки и смещения положения отдельных проектируемых искусственных сооружений на местности.

По результатам полевых и лабораторных работ составляют отчет об инженерно-геологических условиях проектируемой железной или автомобильной дороги.

Инженерно-геологические изыскания мостовых переходов

Понятие «мостовой переход» включает в себя мост, подходы к мосту, регуляционные и защитные сооружения. Мосты в зависимости от своей длины подразделяются на малые, средние и крупные. Инженерно-геологические изыскания для малых мостов (длиной менее 25 м) проводятся в составе изысканий по трассам автомобильных и железных дорог как для объектов индивидуального проектирования, а именно искусственных сооружений (см. табл. 39.1).

Состав и объемы инженерно-геологических изысканий для строительства средних (длиной от 25 до 100 м) и больших мостов (длиной свыше 100 м) определяются ведомственными строительными нормами ВСН 156-88 «Инженерно-геологические изыскания железнодорожных, автодорожных и городских мостовых переходов».

В состав инженерно-геологических изысканий для выбора места и трассы мостового перехода входят: сбор и систематизация всех материалов изысканий прошлых лет, инженерно-геологическая рекогносцировка, инженерно-геологическая съемка, геофизические исследования, бурение скважин и горнопроходческие работы с отбором проб грунтов и воды, полевые исследования грунтов (при необходимости), лабораторные работы, стационарные наблюдения и камеральные работы.

Согласно ВСН 156-88, рекогносцировка проводится вдоль осей намеченных вариантов мостового перехода и вдоль водотока выше и ниже по течению на 300-500 м от оси. Съёмочные работы в масштабе 1:5000-1:10 000 выполняются по всем вариантам мостового перехода с проходкой при необходимости скважин и горных выработок. Ширина полосы съемки на каждом варианте должна быть не менее 300 м. Большое внимание до начала полевых работ уделяют сбору и анализу имеющихся фондовых и других материалов по геологии, геоморфологии и гидрогеологии района, а также дешифрированию аэро-космоснимков.

Изыскания на стадии обоснования **предпроектной документации** завершаются составлением отчета со сравнительной характеристикой инженерно-геологических условий каждого из изученных вариантов и рекомендациями по выбору основного варианта мостового перехода.

Важнейшее значение для выбора основного варианта трассы мостового перехода имеет геологическое строение долины (литологический состав и условия залегания четвертичных и коренных пород). Наиболее благоприятными основаниями для опор моста служат нетрещиноватые (или малотрещиноватые) скальные породы, плотные ледниковые отложения, мощные толщи аллювиальных песчано-гравийных отложений. Прочностные и деформационные характеристики этих пород должны обеспечивать устойчивость и долговечность моста и подходов к нему.

Инженерно-геологические изыскания на стадии проекта на участке, выбранном для размещения мостового перехода, должны

подтвердить правильность его выбора, а также дать дополнительную инженерно-геологическую и гидрогеологическую информацию, необходимую для проектирования всего комплекса сооружений мостового перехода и подходов к нему. На стадии проекта должен быть дан прогноз изменения геологической среды в период строительства и эксплуатации, а также выявлены и оценены запасы грунтовых строительных материалов.

Для решения этих вопросов вдоль оси мостового перехода на участке шириной 100-200 м выполняют детальную инженерно-геологическую съемку в масштабе 1:2000-1:5000, которая сопровождается комплексом разнообразных инженерно-геологических исследований.

Основным видом инженерно-геологических работ является бурение скважин как в русле реки, так и на пойменных подходах к мосту. Количество скважин и их глубина определяются в зависимости от длины проектируемого моста, сложности инженерно-геологических условий и степени изученности участка работ.

Для средних мостов, как правило, бурят три-пять скважин глубиной 10-15 м, а для больших мостов — шесть-восемь и более скважин глубиной 15-30 м, иногда до 40-50 м. Если на выбранном участке залегают аллювиальные или другие рыхлые отложения, их проходят на полную мощность и врезаются в толщу плотных коренных пород. Бурение скважин сопровождается отбором монолитов грунта (рис. 39.2) и образцов нарушенной структуры.

Несколько скважин необходимо проходить и на подходах к мосту: в среднем 1 скважина глубиной 4-6 м бурится через каждые 200-300 м в районе пойменной террасы.



Рис. 39.2. Отбор монолитов грунта из скважины с помощью обуривающего грунтоноса

Бурение скважин в русле реки возможно лишь зимой при наличии достаточной толщи льда, либо в летний период — с плотов или понтонов.

На стадии проекта для изучения геологических условий строительства фундаментов опор моста, подходов к нему и регуляционных сооружений проводятся также геофизические исследования (электро- и сейсморазведка, каротаж), полевые испытания грунтов с помощью статических нагрузок, статическое и динамическое зондирование, лабораторные исследования свойств грунтов и химического состава подземных вод и др.

По результатам выполненных работ составляют детальную инженерно-геологическую карту и геологические разрезы по оси моста и его подходов, а также по оси дамб и другим регуляционным сооружениям.

На стадии *рабочей документации* уточняют данные, полученные на стадии проекта, в частности, по инженерно-геологическим условиям оснований опор моста. Продолжаются работы по сбору гидрометрических и гидрологических данных об уровне и ледовом режиме реки, скоростях течения и др., необходимых для прогноза развития подмыва и размыва русла и берегов реки. В случае необходимости увеличения объемов запасов грунтовых строительных материалов ведется их доразведка. В сложных инженерно-геологических условиях продолжают стационарные наблюдения за динамикой развития опасных геологических процессов.

По окончании работ составляют технический отчет о результатах инженерно-геологических изысканий мостового перехода с необходимыми графическими и табличными приложениями (план участка мостового перехода масштаба 1:1000, на который наносят береговые устои и опоры; инженерно-геологическую и геоморфологическую карту масштаба 1:2000–1:10 000, инженерно-геологические разрезы, расчетные и нормативные показатели свойств грунтов, данные, характеризующие гидрологический режим реки и интенсивность развития неблагоприятных геологических процессов и др).

В отчете приводятся общие выводы об инженерно-геологических условиях строительства мостового перехода и даются необходимые рекомендации по обеспечению его устойчивости и долговечности.

Глава 40. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ВОДООТВЕДЕНИЯ И ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ

В данной главе рассматриваются инженерно-геологические изыскания при проектировании гидротехнических сооружений систем водоснабжения (плотин и водохранилищ), трубопроводов (газопроводов, водопроводов и др.) и сооружений систем водоотведения.

Плотины и водохранилища

Инженерно-геологические изыскания для гидротехнических сооружений в целях водоснабжения (плотины и водохранилища) относятся к числу наиболее сложных и ответственных из всех видов изысканий под указанные выше объекты.

По своему характеру гидротехнические сооружения систем водоснабжения (плотины, водохранилища) достаточно разнообразны. Они могут быть крупными и сложными объектами, в виде плотин, перекрывающих реки, и сравнительно небольшими и простыми сооружениями в виде невысоких (менее 10 м) земляных плотин с небольшими чашами водохранилищ. Последние наиболее часто встречаются в сельских местностях, в районах поселкового строительства для решения вопросов обеспечения водой отдельных промышленных объектов.

В основе проектно-изыскательских работ для обоснования проектов гидротехнических сооружений, как и для других видов строительства, лежит их стадийность (этапность). Для наиболее простых сооружений, например низкой земляной плотины и небольшого водохранилища, возможно одностадийное проектирование с составлением рабочего проекта. Для сложных сооружений предусматривается предпроектный этап (схема комплексного использования реки) и две стадии проектирования: проект и рабочая документация.

Большое влияние на инженерно-геологические изыскания оказывает сложность геологического строения. Условия могут быть простые, сложные и весьма сложные. При простых геологических условиях объект строится на естественном основании, нагрузки на грунты не ограничиваются. Сложные условия требуют улучшения

свойств грунтов, величины нагрузок ограничиваются. Весьма сложные геологические условия свойственны сейсмическим, карстовым районам, участкам с многолетнемерзлыми и органоминеральными грунтами и др. Строительство в таких районах требует проведения сложных мероприятий по улучшению состояния и свойств грунтов, принятия специальных конструктивных решений.

На **предпроектном этапе** важное значение имеет сбор, систематизация, анализ и обобщение материалов ранее проводившихся изысканий и исследований (геоморфологических, геологических, гидрогеологических, топографических и др.). В ходе рекогносцировочного обследования участка долины, которое при необходимости может сопровождаться (в минимальном объеме) бурением отдельных скважин, геофизическими исследованиями и др., ориентировочно определяют возможное месторасположение и размеры плотины, площадь чаши водохранилища и других компонентов проектируемого гидроузла.

Окончательный выбор створа плотины возможен лишь после проведения инженерно-геологической съемки участка долины, в пределах которого намечено разместить плотину и водохранилище. Съемка — важнейший вид работ в общем комплексе инженерно-геологических изысканий для плотин и водохранилищ.

Инженерно-геологическая съемка проводится в масштабе 1:25 000 (при длине чаши водохранилища до 10–15 км) или 1:50 000 при длине чаши до 20–30 км. В сложных геологических условиях масштаб съемки должен быть крупнее — 1:25 000. В состав съемки входит комплекс геофизических исследований буровых и горнопроходческих работ, полевых опытных работ, лабораторных исследований, стационарных наблюдений и других видов работ.

Гидрогеологические исследования, в первую очередь, должны охарактеризовать условия фильтрации в районе плотины с целью определения постоянных и временных потерь воды из чаши водохранилища.

На **предпроектном этапе** работ проводятся также поиски и разведка строительных материалов, для решения вопроса обеспеченности ими проектируемых сооружений гидроузла. Подсчет запасов выполняют из расчета превышения потребностей в 2–3 раза.

Конечным результатом инженерно-геологических работ на **предпроектном этапе** является технический отчет с обоснованием целесообразности выбранного створа плотины и чаши водохранилища.

Инженерно-геологические изыскания для **разработки проекта** выполняются на выбранном створе плотины и в чаше водохранилища. В состав работ входит разнообразный комплекс инженерно-геологических исследований.

В районе выбранного створа плотины и чаши водохранилища проводят детальную инженерно-геологическую съемку в масштабе 1:2000, 1:1000, а на отдельных участках и 1:500. Эта съемка сопровождается значительно большим объемом работ, чем на предпроектном этапе изысканий.

Согласно СП 11-105-97, ч. I, на участках плотин высотой до 25 м разведочные выработки размещают по осям плотины через 50–150 м в зависимости от сложности инженерно-геологических условий (рис. 40.1 по В. А. Приклонскому). Согласно этим же строительным правилам, глубину разведочных выработок (обычно это буровые скважины) следует принимать с учетом величины взаимодействия плотины с геологической средой (сжимаемой толщей и зоной фильтрации), но, как правило, не менее полуторной высоты плотин.

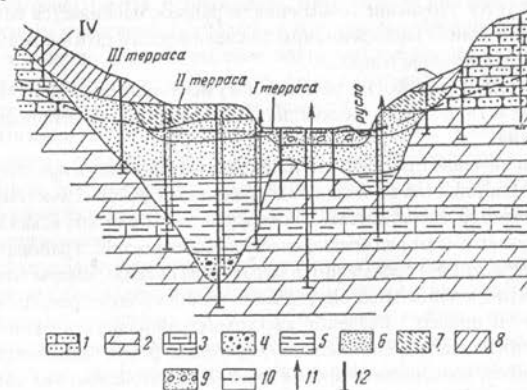


Рис. 40.1. Инженерно-геологический разрез по оси проектируемой плотины:

I, II, III — первая (пойменная), вторая и третья (надпойменные) террасы;
IV — делювиальный шлейф; 1–9 — различные горные породы;
10 — уровень грунтовых вод; 11 — напорных; 12 — буровые скважины

В лабораторных условиях детально определяются *состав и свойства грунтов*. В последнее время большое внимание уделяется изучению грунтов в массиве, т. е. в их природном залегании.

Важнейшее значение имеют работы по гидрогеологии. В районе плотины детально изучаются условия фильтрации. Особое внимание уделяется полевым работам (опытные откачки, нагнетание, наливывы) и наблюдениям за режимом подземных вод. При оценке потерь воды из водохранилища кроме фильтрации следует учитывать возможность ее ухода через расположенные вблизи депрессии рельефа, подземные выработки, карстовые пустоты, трещины скальных массивов. Определяются возможность выщелачивания и механической суффозии грунтов; выходов напорных вод; вероятность развития оползней на склонах и в местах примыкания плотины к берегам; характер подтопления окружающей водохранилища территории, особенно населенных пунктов и промышленных объектов.

При инженерно-геологических изысканиях на основе детальной изученности геоморфологических, геологических и грунтовых условий производится уточнение сейсмичности района, оценивается возможность заиливания водохранилища за счет твердого стока и решаются другие специальные вопросы.

На стадии разработки **рабочей документации** инженерно-геологические и гидрогеологические данные подвергаются детализации и уточнению.

В заключение отметим, что наибольшую сложность представляет собой строительство плотин и водохранилищ в районах *многолетней мерзлоты и развития карста*. Инженерно-геологические изыскания в этих случаях имеют ряд специфических особенностей. В районах многолетней мерзлоты производится мерзлотная съемка, замеры температур грунтов, специальные определения свойств и водопроницаемости грунтов. В процессе изучения карстовых районов устанавливается распространение и происхождение карстовых форм, закономерности их развития, условия растворения грунтов фильтрационным потоком и скорость этого процесса.

В период строительства и эксплуатации плотин и водохранилищ ведут наблюдения за возведением земляных плотин, деформациями грунтового тела плотины (осадки, сдвиги), переформированием берегов водохранилища, режимом подземных вод и др.

Трубопроводы (водопровод, канализационная сеть, газопровод и др.)

Трубопроводы предназначаются для транспортировки различных жидкостей и газов. При инженерно-геологических изысканиях исходят из того, что трубопроводы оказывают незначительное давление на грунты оснований (не более 0,02 МПа), но отличаются высокой чувствительностью к осевым перемещениям, что может приводить к повреждению стыковых соединений.

Состав и объем инженерно-геологических изысканий для обоснования строительства трубопроводов и связанных с ними зданий и сооружений (водонапорные башни, резервуары, насосные станции и пр.) определяются требованиями СНиП 11-05-97, ч. 1.

Для проектирования трубопроводов необходимо знать состав и свойства грунтов оснований, литологию грунтов, которые пойдут на засыпку траншей (или создание насыпей), рельеф местности, особенности строения речных долин и их эрозионную деятельность, глубину промерзания грунтов, сейсмичность, блуждающие электрические токи, наличие и агрессивность грунтовых вод, характер берегов морей, озер, водохранилищ, а также опасные геологические процессы и явления, которые могут затруднить работу по укладке трубопроводов или отрицательно сказаться на их устойчивости.

Инженерно-геологические изыскания трасс выполняются в различных объемах в зависимости от типа трубопроводов (магистральные, ответвления или разводящая сеть), сложности инженерно-геологических условий, степени геологической изученности и стадии проектирования.

На предпроектном этапе (обоснование инвестиций в строительство объекта) для крупных и ответственных магистральных трубопроводов выполняют изыскания с целью обоснования выбора оптимального варианта трассы. Работу начинают со сбора архивных геологических материалов. Намечают ряд вариантов трасс трубопроводов. Каждая проектируемая трасса изучается в полевых условиях в полосе шириной 500 м в процессе проведения рекогносцировочного обследования и инженерно-геологической съемки. В процессе полевых работ особое внимание обращается на участки развития опасных геологических процессов (оползни, карст и др.), коррозионную активность грунтов и

агрессивность подземных вод, выявление блуждающих токов. На этом этапе работ большое значение имеют маршрутные и аэровизуальные наблюдения, а также дешифрирование аэро- и космоснимков.

В инженерно-геологическом отчете дается сравнительная характеристика всех вариантов трасс трубопровода с представлением схематических инженерно-геологических карт. Более детально оценивается наиболее благоприятный вариант трассы.

На стадии проекта изыскания проводят на выбранном варианте трассы. К материалам предпроектного этапа добавляются новые разведочные выработки по трассе, дополнительные лабораторные исследования грунтов, в том числе анализы коррозионной активности грунтов и агрессивности грунтовых вод.

Разведочные выработки выполняются в основном в виде буровых скважин. На каждый километр задают в среднем 3–5 скважины. Глубина скважин назначается с учетом возможной глубины трубопровода и глубины сезонного промерзания грунтов. Чаще всего это 3–5 м, а на болотах и переходах через водотоки 10–15 м. По мере необходимости из скважин отбирают образцы грунтов и пробы грунтовых вод. Поскольку металлические трубопроводы, укладываемые в землю, подвергаются коррозии, степень коррозионности грунтов определяют полевыми и лабораторными методами.

Для выявления границ залегания скальных, илистых или торфянистых грунтов закладывают дополнительные разведочные выработки. То же самое делают на участках переходов через реки, растущие овраги, большие ущелья, а также дороги, линии электропередач и другие естественные и искусственные препятствия.

При пересечении трассой трубопровода районов со сложными инженерно-геологическими условиями (участки индивидуального проектирования) к обычным исследованиям добавляют специальные исследования. К сложным инженерно-геологическим условиям относят районы развития карста, склоновых процессов, многолетней мерзлоты, селей, сейсмические районы (сейсмичность 6 баллов и более), подтопляемые и подрабатываемые территории, районы распространения специфических грунтов и др. (рис. 40.2).

Так, например, в районах развития многолетней мерзлоты с помощью проведения инженерно-геологической съемки трассы в мас-

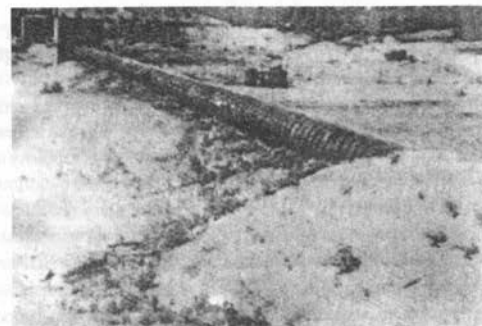


Рис. 40.2. Коллектор для сброса сточных вод в лессовых просадочных грунтах

штабах 1:25 000–1:5000 дополнительно устанавливают тип мерзлоты (сплошная, слоистая), состав и льдистость мерзлых пород, мощность деятельного слоя, сжимаемость мерзлых пород при оттаивании, склонность к морозному пучению, наличие наледей, термокарстовых понижений и др. Масштаб съемки устанавливается в зависимости от сложности инженерно-геологических условий и конструктивных особенностей трубопровода.

Инженерно-геологические изыскания для обоснования проекта трубопроводов оформляют в виде технического отчета, который дает основание для разработки **рабочей документации** (детализация и уточнение инженерно-геологических условий конкретных участков и прогноз их изменений в период строительства и эксплуатации).

Сооружения систем водоотведения и очистки сточных вод

Очистные сооружения сточных вод (аэротенки, метантенки, резервуары и др.) и **земляные сооружения промстоков** (поля фильтрации, пруды-накопители, хвостохранилища и др.) располагаются, как правило, на землях, непригодных для сельскохозяйственного освоения. Обычно это территории со сложными инженерно-геологическими

условиями (органоминеральные, засоленные, техногенные грунты и др.), что требует более углубленного, чем в простых инженерно-геологических условиях, проведения изысканий.

Очистные сооружения сточных вод могут иметь значительные размеры (например, аэротенки из сборного железобетона имеют длину до 100 м и более, ширину — до 12 м и рабочую глубину до 5 м) и отличаются высокой чувствительностью грунтового основания к неравномерным осадкам.

Земляные сооружения промстоков — это емкости (земляные) полностью или частично заглубленные и обвалованные. Все они в той или иной степени являются источниками загрязнения подземных вод и водоемов, поэтому важнейшими задачами инженерно-геологических и гидрогеологических исследований являются прогноз изменения качества подземных вод и соответствующее обоснование защитных мероприятий от загрязнений.

В процессе проведения инженерно-геологических изысканий для строительства указанных выше сооружений основное внимание уделяют изучению геоморфологических особенностей участка размещения проектируемого объекта, его геологического строения, гидрогеологических условий, состава состояния и свойств грунтов, в первую очередь, фильтрационных. Оценивается также возможность развития опасных геологических процессов, а при их наличии дается детальная их характеристика.

Для решения всех этих вопросов проводят рекогносцировочное обследование и инженерно-геологическую съемку, бурят скважины, которые располагают на площадках по сетке со сторонами в 50–100 м, а также по линиям предполагаемого растекания и движения промышленных и бытовых стоков.

Согласно СП 11-105-97, ч. I, на полях фильтрации количество разведочных выработок необходимо принимать из расчета 2–3 выработки на 1 га исследуемой площади. Глубину выработок следует устанавливать, как правило, до 5 м, а при близком залегании подземных вод — на 1–2 м ниже их уровня. На типичных участках следует проходить 1–2 выработки до глубины 8–10 м. Для оценки возможного загрязнения водоносного горизонта часть выработок следует проходить на 1–2 м ниже водоупора.

В процессе инженерно-геологических изысканий изучают также режим грунтовых вод, оценивают влияние состава сточных вод на физические свойства и химический состав подземных вод. Проводят опытно-фильтрационные работы. Фильтрационные свойства грунтов определяют в лаборатории и в полевых условиях путем налива воды в шурфы. Стационарные наблюдения за режимом подземных вод проводят с начала изысканий для проекта и до окончания изысканий для рабочей документации.

Земляные сооружения промстоков могут создаваться для накопления загрязненных вод, которые сбрасывают промышленные предприятия, в том числе химические заводы. Для предотвращения инфильтрации загрязненных вод в глубину грунтовой толщи дно бассейна покрывают противофильтрационной одеждой. В этом случае в задачу инженерно-геологических изысканий входят поиск и разведка местных строительных материалов (глин), которые могли бы быть использованы для изготовления водоупорного экрана на дне проектируемого бассейна.

В определенных природных условиях, не исключающих возможное загрязнение подземных вод и водоемов, применение только этих мер будет недостаточным и весьма рискованным. Поэтому в этих случаях рекомендуется по всему периметру земляного хранилища промышленных стоков, например, пруда-накопителя-испарителя (рис. 40.3, по А. И. Арцеву) сооружать противофильтрационную завесу с поверхности и до глубины 10–15 м (с заглублением на 2 м в водоупорные глины).

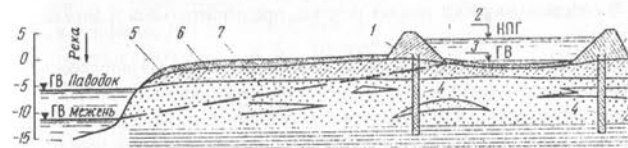


Рис. 40.3. Пруд-накопитель-испаритель:

1 — дамбы обвалования; 2 — расчетный уровень промстоков; 3 — горизонт воды в озере-солончаке до устройства пруда; 4 — противофильтрационная завеса; 5 — почва; 6 — суглинки; 7 — пески с линзами супесей; 8 — глины

Глава 41. ИЗЫСКАНИЯ МЕСТНЫХ И ГРУНТОВЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для строительства земляных сооружений: плотин, дамб, земляного полотна, а также устройства искусственных оснований, планировки территории строительства и т. д., требуется большое количество природных строительных материалов. Их добывают в **карьерах**, под которыми понимают совокупность открытых горных выработок, предназначенных для добычи полезного ископаемого. Природные скопления полезных ископаемых, пригодных по количеству, качеству и условиям залегания для разработки, называют **месторождениями**.

Все нерудные полезные ископаемые, используемые в строительстве, подразделяют на местные строительные материалы и грунтовые строительные материалы.

Местные строительные материалы могут быть естественного происхождения (камень, щебень, гравий, песок и др.) и техногенного (золашлаковые смеси, золы уноса тепловых электростанций и др.). Их используют для производства бетона, керамзита, кирпича, балласта и других строительных изделий. Изыскания местных строительных материалов, которые могут быть отнесены к балансовым запасам (промышленным месторождениям), выполняют геологоразведочные организации самостоятельно или при необходимости в составе инженерных изысканий. Методика их проведения определяется действующими государственными стандартами, а также нормативными документами на геологоразведочные работы.

В состав этих работ входят поиски, предварительная и детальная разведка.

Поиски месторождений местных строительных материалов проводят в процессе рекогносцировочного обследования и геологической съемки территории, сопровождаемой небольшим количеством буровых и других видов исследований. Проведению поисковых работ предшествует сбор и обобщение фондовых материалов изысканий прошлых лет, в том числе на основе геолого-съемочных и инженерно-геологических работ. Цель поисковых работ — выбор перспективных для разведки участков залегания местных строительных материалов.

В процессе **предварительной разведки** изучают горно-геологические условия выделенных по результатам поисков участков (их может быть

один или несколько) с целью получения необходимых данных для их сравнительной оценки и обоснования объекта для детальной разведки.

Основные вопросы изучения на этом этапе: условия залегания полезного ископаемого по площади и глубине и его запасы, гидро-геологические условия, качество строительного материала, условия эксплуатации месторождения и др.

Целесообразность разработки месторождения устанавливается на основе технико-экономического анализа и во многом определяется соотношением между мощностью вскрышных пород (H) и мощностью слоя полезного ископаемого (h) (рис. 41.1).

Отношение H/h носит название *геологического коэффициента*. Ценность месторождения повышается с уменьшением значения этого коэффициента. Иногда экономически выгодной может оказаться разработка карьеров с коэффициентом более 1 (слабая обеспеченность района строительными материалами, полная механизация вскрышных работ и т. д.).

На этапе **детальной разведки** уточняют горно-геологические и гидрогеологические данные, тщательно опробывают полезное ископаемое, выполняют обоснованный подсчет его запасов и др.

В состав работ, выполняемых на этапах предварительной и детальной разведки, входит геологическая съемка, буровые, геофизические исследования, гидрогеологические работы, лабораторные исследования проб грунтовых строительных материалов, камеральная обработка материалов и др.

Изыскания местных строительных материалов, как отмечалось выше, сопровождаются подсчетом разведываемых запасов. Запасы классифицируют по категориям A , B и C , которые, в свою очередь, подразделяют на C_1 и C_2 . Категория A — детально разведанные запасы; B — запасы достаточно точно установлены и оконтурены буровыми скважинами, но отдельные показатели изучены недостаточно; C_1 — предполагаемые запасы, определенные на основании одиночных разведочных скважин; C_2 — запасы, определяемые по общим геологическим данным. Запасы местных строительных материалов подлежат апробированию и утверждению в государственных или территориальных комиссиях по запасам (ГКЗ и ТКЗ).

Подсчет запасов строительного материала в месторождении производится обычно среднелогарифмическим методом или способом

параллельных сечений. В первом случае вначале устанавливают среднюю мощность полезного ископаемого

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n},$$

где h_1, h_2 и т. д. — мощность слоя полезного ископаемого в данном сечении, n — число сечений. Далее, зная площадь полезного ископаемого S , устанавливают его объем в м^3 :

$$V = Sh_{\text{ср}}.$$

Способ параллельных сечений (вертикальных разрезов) применяют при удлиненной форме месторождения и параллельном расположении разведочных линий. Геологический разрез составляют по каждой разведочной линии, и с помощью планиметра определяют площадь полезного ископаемого. Объем запасов в блоке между двумя параллельными сечениями будет равен произведению полусуммы площадей этих сечений на расстояние между ними.

Помимо изысканий местных строительных материалов проводят изыскания **грунтовых строительных материалов**, т. е. материалов естественного и техногенного происхождения, используемых для возведения земляных (грунтовых) сооружений — плотин, дамб, дорог и др.

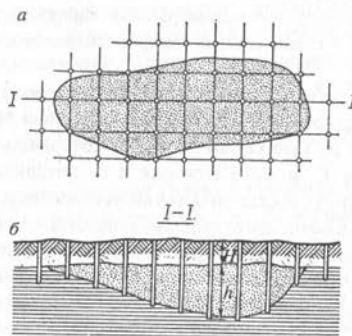


Рис. 41.1. Месторождение песка, разведанное с помощью буровых скважин:

a — в плане; b — в разрезе; H — мощность вскрыши; h — мощность песка

Состав, объемы и технология производства изысканий грунтовых строительных материалов для разработки предпроектной и проектной документации, а также в период строительства, эксплуатации и ликвидации объектов регламентируются строительными нормами (СНиП 11-02-96) и специализированным Сводом правил — СП 11-109-98 «Изыскания грунтовых строительных материалов».

В качестве **грунтовых строительных материалов** используют скальные, крупнообломочные, песчаные и глинистые грунты, не являющиеся местными строительными материалами, а также вскрышные породы и отвалы карьеров, грунты строительных выемок и техногенные образования (отходы промышленных предприятий).

Потребность в этих материалах при строительстве различных сооружений может быть весьма значительной. Так, например, для возведения участка железной дороги длиной в 100 км в среднем требуется, м^3 : камня — 60 000; щебня — 22 000; песка — 34 000; глины — 2000; баласта-щебня — 13 500; песка для подушки под щебень — 170 000 и т. д.

Цель изысканий грунтовых строительных материалов — получение необходимой и полной геологической информации для проектирования карьеров по их добыче. Эти карьеры являются временными предприятиями, их организуют лишь для строительства данного объекта, поэтому подсчитанные запасы грунтовых строительных материалов не подвергаются апробированию и утверждению в ГКЗ и ТКЗ.

Изыскания производят в радиусе до 3–5 км от проектируемого объекта (плотины, дамбы и др.), а при строительстве дорог — в прилегающей полосе шириной до 10 км от оси трассы.

Организация изысканий грунтовых строительных материалов проводится в таком же порядке, как и для других инженерных изысканий для строительства: техническое задание заказчика — составление и согласование программы изысканий — регистрация работ — производство изысканий — составление технического отчета — передача материалов в государственные фонды.

Сводом правил (СП 11-109-98) установлены требования к составу и объему изысканий на различных стадиях-этапах: 1) предпроектной документации; 2) проекта и 3) рабочей документации. В период строительства проектируемого объекта осуществляется геотехнический контроль за качеством возведения земляных сооружений и специальные наблюдения за консолидацией и уплотнением уложенных в

земляное сооружение грунтовых строительных материалов. В период эксплуатации проводятся наблюдения за состоянием и изменением крупных и ответственных земляных (грунтовых) сооружений.

В состав изысканий на тех или иных стадиях (этапах) проектирования входит широкий спектр инженерно-геологических и гидрогеологических исследований: сбор и обобщение материалов прошлых лет, дешифрирование космо- и аэрофотоматериалов, геофизические исследования, опытные полевые работы, стационарные наблюдения за развитием опасных геологических процессов и режимом подземных вод, лабораторные исследования, камеральные работы, а также специальные опытно-производственные исследования с участием строительных организаций.

Основными видами работ являются: бурение скважин, проходка шурфов, отбор проб грунтовых строительных материалов.

Проходка разведочных выработок позволяет, наряду с решением других задач, установить условия залегания полезной толщи и вскрыши, т. е. пород, перекрывающих полезную толщу (грунтовые строительные материалы) сверху. Расстояние между выработками принимается по табл. 42.1 (СП 11-109-98), а глубина на 1–2 м ниже подошвы полезной толщи.

Таблица 41.1

Изыскания грунтовых строительных материалов

Группа сложности горно-геологических условий	Расстояние между разведочными выработками, м		
	Предпроектная документация	Проект	Рабочая документация
I	800–400	400–200	200–100
II	600–300	300–150	150–75
III	400–200	200–100	100–50

Сетки размещения разведочных выработок в плане могут иметь квадратную, прямоугольную или неправильную форму.

Из разведочных выработок отбирают следующие виды проб: образцы пород (монолиты, штуфы), послойные, поинтервальные и полужаводские (технологические). Их отбирают точечным, валовым, бороздовым и другими способами. Масса проб может составлять от 2–5 кг (послойные виды проб) до 2–10 т (полужаводские пробы).

По результатам выполненных изысканий грунтовых строительных материалов составляют отдельный технический отчет (заключение) либо выделяют раздел «Грунтовые строительные материалы для земляных сооружений» в отчете по инженерно-геологическим изысканиям.

Литература

- Ананьев В.П., Передельский Л.В. Инженерная геология и гидрогеология. — М.: Высш. шк., 1980.
- Ананьев В.П., Потапов А.Д. Инженерная геология. — М.: Высш. шк., 2005.
- Ариев А.И. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования для водоснабжения и водоотведения. — М.: Высш. шк., 1985.
- Бельй Л.Д. Инженерная геология. — М.: Высш. шк., 1985.
- Воронкевич С.Д. Основы технической мелиорации грунтов. — М.: Научный мир, 2005.
- Грунтоведение / Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С. / под ред. В.Т. Трофимова. — М.: Изд-во МГУ, 2005.
- Зиангиров Р.С., Быкова В.С., Полтев М.П. Инженерная геология в строительстве / под ред. Р.С. Зиангирова. — М.: Стройиздат, 1986.
- Золотарев Г.С. Методика инженерно-геологических исследований. — М.: изд-во МГУ, 1990.
- Коробкин В.И., Передельский Л.В. Инженерная геология и охрана природной среды. — Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1993.
- Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. — Л.: Недра, 1977.
- Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. — М.: Высш. шк., 1982.
- Потапов А.Д., Ревелис И.Л. Инженерно-геологические понятия и термины. — М.: Изд-во МГСУ, 1995.
- Практикум по грунтоведению / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. — М.: Изд-во МГУ, 1993.
- Сергеев Е.М. Инженерная геология. — М.: Изд-во МГУ, 1982.
- Фролов А.Ф., Коротких И.В. Инженерная геология. — М.: Недра, 1990.
- Чернышев С.Н., Чумаченко А.Н., Ревелис И.Л. Задачи и упражнения по инженерной геологии. — М.: Высш. шк., 2002.
- ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. — М., 1995.

- ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. — М., 1996.
- ГОСТ 21302-96. СПДС. Условные графические обозначения в документации по инженерно-геологическим изысканиям. — М., 1996.
- СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений. — М., 1985.
- СНиП 11-7-81*. Строительство в сейсмических районах. — М., 2002.
- СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. — М., 1997.
- СП 11-105-97. Часть I. Общие правила производства работ. — М., 1997.
- СП 11-105-97. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. — М., 1997.
- СП 11-105-97. Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов. — М., 1997.
- СП 11-105-97. Часть IV. Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. — М., 1997.
- СП 11-105-97. Часть V. Правила производства работ в районах с особыми природно-техногенными условиями. — М., 1997.
- СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. — М., 2004.

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
§ 1. <i>Инженерная геология как наука о рациональном использовании и охране геологической среды</i>	5
§ 2. <i>Краткий очерк развития инженерной геологии в России</i>	7
§ 3. <i>Значение инженерно-геологической информации для строителей</i>	10
Раздел I. ЭЛЕМЕНТЫ ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОМОРФОЛОГИИ	
Глава 1. <i>Современные представления о происхождении и строении Земли. Геосферы</i>	13
§ 1. <i>Происхождение, форма и строение Земли</i>	13
§ 2. <i>Геосферы</i>	14
§ 3. <i>Температурный режим земной коры</i>	20
Глава 2. <i>Минералы</i>	22
§ 1. <i>Общие сведения о минералах</i>	22
§ 2. <i>Химический состав и физические свойства минералов</i>	26
§ 3. <i>Классификация минералов по химическому составу</i>	29
Глава 3. <i>Горные породы</i>	31
§ 1. <i>Общие сведения о горных породах и их классификация</i>	31
§ 2. <i>Магматические горные породы</i>	32
Магматические глубинные (интрузивные) породы	34
Магматические излившиеся (эффузивные) породы	36
§ 3. <i>Осадочные горные породы</i>	39
Обломочные горные породы	42
Хемогенные породы	46
Органогенные (органические) породы	47
§ 4. <i>Метаморфические горные породы</i>	49
Массивные (зернистые) метаморфические породы	50
Сланцеватые метаморфические породы	51
§ 5. <i>Выветривание горных пород и почвообразование</i>	53
Глава 4. <i>Геологическая хронология</i>	58
§ 1. <i>Относительный и абсолютный возраст горных пород</i>	58
§ 2. <i>Геохронологическая шкала</i>	60

Глава 5. Тектонические движения земной коры.....	63
§ 1. Понятие об основных тектонических структурах земной коры.....	63
§ 2. Типы тектонических движений.....	64
§ 3. Тектоника литосферных плит.....	70
Глава 6. Геологические карты и разрезы.....	72
Глава 7. Элементы геоморфологии.....	76
§ 1. Общие сведения о геоморфологии.....	76
§ 2. Происхождение форм рельефа.....	77
§ 3. Морфология и морфометрия рельефа.....	78
§ 4. Значение геоморфологии в инженерной геологии.....	82
Раздел II. ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ	
§ 1. Круговорот воды в природе и интенсивность водообмена подземных вод.....	86
§ 2. Происхождение подземных вод.....	88
§ 3. Водные свойства горных пород.....	89
Глава 9. Физические свойства и химический состав подземных вод.....	92
§ 1. Физические свойства подземных вод.....	92
§ 2. Химический состав подземных вод.....	93
§ 3. Агрессивность подземных вод к строительным конструкциям.....	98
Глава 10. Классификация подземных вод.....	100
§ 1. Классификация подземных вод по характеру их использования для хозяйственно-питьевых и других целей.....	100
§ 2. Классификация подземных вод по условиям залегания.....	102
Глава 11. Характеристика основных типов подземных вод по условиям залегания.....	104
§ 1. Верховодка.....	104
§ 2. Грунтовые воды.....	105
Основные типы грунтовых вод.....	107
§ 3. Межпластовые подземные воды. Артезианские воды и бассейны.....	112
§ 4. Подземные воды в трещиноватых и закарстованных породах.....	117
§ 5. Подземные воды районов многолетней мерзлоты.....	120
Глава 12. Движение подземных вод.....	122
§ 1. Общие понятия о движении подземных вод.....	122
§ 2. Основной закон фильтрации подземных вод — закон Дарси.....	124
§ 3. Фильтрационные параметры горных пород и водоносных пластов.....	127
§ 4. Расход плоского потока подземных вод.....	131

Глава 13. Приток воды к водозаборным сооружениям, строительным котлованам и дренажным устройствам.....	132
§ 1. Понятие о депрессионной воронке и радиусе влияния.....	134
§ 2. Приток воды к водозаборным скважинам.....	137
§ 3. Приток воды к строительным котлованам.....	143
§ 4. Строительное водопонижение и дренажи.....	145
§ 5. Естественные выходы подземных вод на поверхность (источники).....	152
Глава 14. Режим и баланс подземных вод.....	155
§ 1. Режим подземных вод в естественных условиях.....	155
§ 2. Режим подземных вод в условиях влияния техногенных факторов.....	158
§ 3. Баланс подземных вод.....	160
Глава 15. Запасы и ресурсы подземных вод.....	162
§ 1. Классификация запасов подземных вод по гидрогеологическим условиям.....	163
§ 2. Классификация эксплуатационных запасов подземных вод по степени изученности.....	165
Глава 16. Охрана подземных вод от истощения и загрязнения.....	166
§ 1. Истощение запасов подземных вод.....	167
§ 2. Загрязнение подземных вод.....	170
§ 3. Зоны санитарной охраны (ЗСО).....	174

Раздел III. ОСНОВЫ ГРУНТОВЕДЕНИЯ

Глава 18. Состав и строение грунтов.....	177
§ 1. Грунт как многокомпонентная динамичная система.....	177
§ 2. Твердая компонента грунта. Минеральный, химический и гранулометрический состав.....	179
§ 3. Жидкая компонента грунта. Виды воды в грунтах.....	184
Виды воды в грунтах.....	185
§ 4. Газовая компонента грунтов.....	188
§ 5. Биотическая (живая) компонента грунта.....	189
§ 6. Текстура, структура и структурные связи в грунтах.....	191
Глава 19. Физико-механические свойства грунтов.....	194
§ 1. Физические свойства грунтов.....	194
§ 2. Механические свойства грунтов.....	198
Деформационные характеристики грунтов.....	198
Прочностные характеристики грунтов.....	201

Глава 21. Класс природных скальных грунтов.....	207
Глава 22. Класс природных дисперсных грунтов.....	209
§ 1. Характерные особенности дисперсных грунтов	209
§ 2. Связные грунты	210
§ 3. Несвязные грунты	215
Глава 23. Грунты особого состояния, состава и свойств (специфические грунты).....	219
§ 1. Многолетнемерзлые грунты	219
§ 2. Просадочные грунты	226
§ 3. Набухающие грунты	237
§ 4. Органоминеральные и органические грунты	242
§ 5. Засоленные грунты	247
§ 6. Элювиальные грунты	251
§ 7. Техногенные грунты	253
Глава 24. Техническая мелиорация грунтов.....	260
Физико-механическая мелиорация грунтов	261
Физико-химическая мелиорация грунтов	265

Раздел IV. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДИНАМИКА

Глава 25. Геологические процессы, связанные с деятельностью ветра	269
§ 1. Эоловые процессы	269
Глава 26. Геологические процессы, связанные с поверхностными водами	274
§ 1. Плоскостной срыв и оврагообразование	275
Плоскостной срыв	275
Оврагообразование	276
§ 2. Речная эрозия и аккумуляция наносов	279
Строение речной долины	279
§ 3. Селевые потоки	284
§ 4. Абразия морских берегов	289
§ 5. Переработка берегов водохранилищ	294
Глава 27. Геологические процессы, связанные с деятельностью поверхностных и подземных вод	298
§ 1. Карст	298
§ 2. Механическая суффозия	306
§ 3. Подтопление	311

Глава 28. Склоновые (гравитационные) процессы	315
§ 1. Оползни	315
§ 2. Обвалы и осыпи	324
§ 3. Снежные лавины	331
Глава 29. Геологические процессы в районах многолетней мерзлоты	334
§ 1. Криогенные (мерзлотные) процессы	334
Глава 30. Геологические процессы, вызванные изменением напряженного состояния горных пород	341
§ 1. Сдвижение горных пород на подрабатываемых территориях	341
§ 2. Оседание земной поверхности под влиянием длительных откачек воды и нефти	346
Глава 31. Геологические процессы, связанные с внутренней энергией Земли	348
§ 1. Сейсмические процессы	348
Глава 32. Мониторинг опасных геологических процессов	363

Раздел V. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

§ 1. Место инженерно-геологических изысканий в системе инженерных изысканий для строительства	366
§ 2. Основные цели, задачи и состав инженерно-геологических изысканий	368
§ 3. Договор (контракт), техническое задание и программа инженерно-геологических изысканий	370
Глава 34. Основные этапы инженерно-геологических изысканий (рекогносцировка, съемка и разведка)	372
Инженерно-геологическая рекогносцировка	372
Инженерно-геологическая съемка	373
Инженерно-геологическая разведка	376
Глава 35. Стадийность инженерно-геологических изысканий	376
Глава 36. Основные виды инженерно-геологических изысканий	380
§ 1. Сбор и обработка материалов изысканий и исследований прошлых лет	380
§ 2. Дешифрирование аэро- и космоматериалов, аэровизуальные и маршрутные наблюдения	381
§ 3. Буровые и горнопроходческие работы	383
§ 4. Геофизические исследования	393

§ 5. <i>Опытные полевые работы</i>	399
Полевые исследования грунтов	399
Опытно-фильтрационные исследования	403
§ 6. <i>Стационарные наблюдения (локальный мониторинг компонентов геологической среды)</i>	410
§ 7. <i>Лабораторные исследования грунтов и подземных вод</i>	411
Лабораторные определения грунтов и обработка их результатов	411
Лабораторные исследования подземных вод	415
§ 8. <i>Камеральные работы и составление технического отчета</i>	416
Глава 37. Основные задачи инженерно-геологических изысканий для различных видов строительства и охрана окружающей среды	420
§ 1. <i>Основные задачи инженерно-геологических изысканий</i>	420
§ 2. <i>Инженерно-геологические изыскания и охрана окружающей среды</i>	421
Глава 38. Инженерно-геологические изыскания при проектировании промышленных и гражданских зданий и сооружений и их реконструкции	423
Инженерно-геологические изыскания для обоснования проектов реконструкции зданий и сооружений	427
Глава 39. Инженерно-геологические изыскания при проектировании автомобильных и железных дорог и мостовых переходов	431
Инженерно-геологические изыскания мостовых переходов	435
Глава 40. Инженерно-геологические изыскания при проектировании систем водоснабжения, водоотведения и теплогасоснабжения	439
Плотины и водохранилища	439
Трубопроводы (водопровод, канализационная сеть, газопровод и др.)	443
Сооружения систем водоотведения и очистки сточных вод	445
Глава 41. Изыскания местных и грунтовых строительных материалов	448
Литература	453

Серия «Высшее образование»

**Передельский Леонид Васильевич,
Приходченко Олег Евгеньевич**

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Ответственный редактор *И. Ю. Жиляков*

Технический редактор *Л. А. Багрянцева*

Художник *А. Вартаков*

Корректоры *Н. Пустовойтова, Н. Иванова*

Подписано в печать 18.08.09.

Формат 60×84/16. Бум. тип № 2.

Гарнитура CG Times. Печать офсетная. Усл. п. л. 27,84.

Тираж 2500 экз. Зак. № 2275-09

ООО «Феникс»

344082, г. Ростов-на-Дону, пер. Халтуринский, 80

Отпечатано с готовых диапозитивов в ЗАОр «НПП «Джашгар»
358000, Республика Калмыкия, г. Элиста, ул. Ленина, 245



Феникс
Торговый Дом

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА:

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

198096, г. Санкт-Петербург, ул. Кронштадтская, 11, оф. 17
тел.: (812) 335-34-84; e-mail: fnx.spb@mail.ru

Директор: Стрельникова Оксана Борисовна

ЕКАТЕРИНБУРГ

620085, г. Екатеринбург, ул. Сухоложская, д. 8.
тел.: 8(343)297-25-75; e-mail: fenixkniga@mail.ru

Директор: Кутянина Олеся Сергеевна

ЧЕЛЯБИНСК

ООО «Интер-сервис ЛТД»
454007, г. Челябинск, ул. Артиллерийская, д. 124
тел.: 8(351) 247-74-13; e-mail: zakup@intser.ru

Менеджер: Шарманова Любовь

НОВОСИБИРСК

ООО ТОП-Книга, г. Новосибирск, ул. Арбузова, 1/1
тел.: (3832) 36-10-28, доб. 1438;
e-mail: phoenix@top-kniga.ru

Менеджер: Михайлова Наталья Валерьевна

УКРАИНА

ООО ИКЦ «Кредо», г. Донецк, ул. Куйбышева, 131
тел.: +38(8062)-345-63-08, 348-37-91, 348-37-92,
345-36-52, 339-60-85, 348-37-86;
e-mail: moiseenko@skif.net

Директор: Моисеенко Владимир Вячеславович

НИЖНИЙ НОВГОРОД (Верхнее Поволжье)

г. Нижний Новгород, Мещерский Бульвар, д.5, кв. 238
тел./факс: (8312) 77-48-70; e-mail: fenixn@rambler.ru

Директор: Коцуба Вячеслав Вячеславович

САМАРА (Нижнее Поволжье)

г. Самара, ул. Товарная, д. 7 «Е» (территория базы «Учебник»
тел.: (846) 951-24-76; e-mail: fenixma@mail.ru

Директор: Митрохин Андрей Михайлович

Торговый Дом «ФЕНИКС»

ПРЕДЛАГАЕТ:

- ✓ Около 100 новых книг каждый месяц
- ✓ Более 3000 наименований книжной продукции собственного производства
- ✓ Более 1500 наименований обменной книжной продукции от лучших издательств России

ОСУЩЕСТВЛЯЕТ:

- ✓ Оптовую и розничную торговлю книжной продукцией

ГАРАНТИРУЕТ:

- ✓ Своевременную доставку книг в любую точку страны, ЗА СЧЕТ ИЗДАТЕЛЬСТВА, автотранспортом и ж/д контейнерами
- ✓ МНОГОУРОВНЕВУЮ систему скидок
- ✓ РЕАЛЬНЫЕ ЦЕНЫ
- ✓ Надежный ДОХОД от реализации книг нашего издательства

ОТДЕЛ ОПТОВЫХ ПРОДАЖ

344082, г. Ростов-на-Дону, пер. Халтуринский, 80
Контактные телефоны: 8(863) 261-89-53, 8(863) 261-89-54,
8(863) 261-89-55, 8(863) 261-89-56, 8(863) 261-89-57,
факс: 8(863) 261-89-58.

Начальник отдела РОДИОНОВА Татьяна Александровна
E-mail: torg152@aaaanet.ru

Заместитель начальника отдела МЕЗИНОВ Антон Николаевич
E-mail: torg151@aaaanet.ru

Менеджер по продажам на территории Москвы, Центра европейской части России и Республики Казахстан
ЧЕРМАНТЕЕВА Татьяна Степановна
E-mail: torg155@aaaanet.ru

Менеджер по продажам на территории Урала и Северо-Запада
ХОМУТЕЦКАЯ Екатерина Владимировна
E-mail: torg153@aaaanet.ru

Менеджер по продажам
ФРАНК Татьяна Викторовна E-mail: sibir@aaaanet.ru

Менеджер по продажам на территории ближнего и дальнего зарубежья
ЯРУТА Игорь Игоревич
E-mail: torg150@aaaanet.ru

Менеджер по продажам
ФЕДОТОВА Ирина Петровна E-mail: torg@aaaanet.ru

Менеджер по продажам
БИБИК Николай Викторович E-mail: pr2@aaaanet.ru

Менеджер по продажам
БЕСКРОВНЫЙ Виктор Александрович E-mail: ural@aaaanet.ru



ISBN 978-5-222-16160-9



9 785222 161609