

ДОНБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Е. Ф. Шкурский

Ж. И. Долина

В. Е. Лисица

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ
И
ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом ДонГТУ

Алчевск

2015

УДК 624.131.1:502

ББК Д 49: Е 08

Ш 66

Евгений Федорович Шкурский — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры маркшейдерии, геодезии и геологии Донбасского государственного технического университета

Жанна Ивановна Долина — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры маркшейдерии, геодезии и геологии Донбасского государственного технического университета

Виктория Евгеньевна Лисица — кандидат геологических наук, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности Донбасского государственного технического университета.

Рецензенты:

Бондарчук В. В. — кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурного проектирования и архитектурных конструкций Донбасского государственного технического университета;

Псюк В. В. — кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Донбасского государственного технического университета.

Рекомендовано ученым советом

Донбасского государственного технического университета

(Протокол № 6 от 08.07.2015)

Шкурский Е. Ф.

Ш 66

Инженерная геология и охрана окружающей среды : учеб. пособ. / Е. Ф. Шкурский, Ж. И. Долина, В. Е. Лисица. — Алчевск : ДонГТУ, 2015. — 296 с.

Рассмотрены вопросы по минералогии и петрографии, общие сведения о строении Земли, гидрогеологии, видам физико-геологических процессов, грунтоведения, региональной инженерной геологии, по изучению сырьевой базы для строительства и охраны природы.

Для студентов, обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское строительство».

УДК 624.131.1:502

ББК Д 49: Е 08

© Е. Ф. Шкурский, 2015

© Ж. И. Долина, 2015

© В. Е. Лисица, 2015

© ДонГТУ, 2015

© А. А. Дудка, художественное оформление обложки, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие предназначается для студентов высших учебных заведений по специальности инженерная геология. В связи с этим в достаточно полной мере изложены сведения, необходимые для инженерно-геологического обоснования проектных и строительных работ различного назначения. Пособие может быть использовано также студентами других специальностей при изучении инженерной геологии, общей геологии и гидрогеологии.

Существующие в настоящее время учебники и учебные пособия по этому курсу обычно написаны либо для инженеров-геологов, либо для инженеров-строителей узкого профиля (дорожное, сантехническое строительство и др.). В последнем случае геологические вопросы излагаются крайне ограниченно. Это приводит к тому, что при изучении курса приходится использовать учебники по общей геологии, минералогии, петрографии, гидрогеологии и др.

Кроме того, в отличие от всех существующих учебников по этому курсу, в настоящем учебном пособии содержатся сведения по охране окружающей среды, оценке месторождений местных естественных строительных материалов, приведены определители минералов и горных пород, задачи по оценке свойств подземных вод, а также по камеральной обработке материалов инженерно-геологических исследований для расчета оснований и сооружений. Эти сведения будут использоваться при проведении лабораторных работ и практических занятий. В связи с этим создаются благоприятные условия для самостоятельной работы студентов при изучении курса.

Курс «Инженерная геология» для студентов строительных специальностей имеет целью изложение таких сведений, которые будут использованы при выборе наиболее благоприятных мест для ведения строительных работ, расчета конструкций сооружений, а также оценке качества и возможности использования местных естественных строительных материалов. В предлагаемом курсе излагаются сведения о верхней части оболочки нашей планеты, именуемой земной корой. Они включают в себя изучение состава земной коры, ее строения, а также различных процессов, протекающих в земной коре за длительное время ее существования. Необходимость этих сведений для специалистов-строителей очевидна, поскольку инженерные сооружения возводятся в пределах земной коры, а строительными материалами являются вещества, входящие в состав земной ко-

ры в естественном виде или как продукты их переработки. Сведения, изложенные в этом учебном пособии, послужат также основой для изучения ряда предметов строительного профиля.

Общие сведения о геологических науках

Название науки «геология» образовано из двух слов древнегреческого языка «гео» (земля) и «логос» (наука, знание). Таким образом, в самом общем понимании геология — это наука о Земле. В настоящее время геология является одной из обширнейших отраслей человеческих знаний. Инженерная геология является одним из разделов науки о Земле и тесно связана с другими дисциплинами геологического профиля. Учитывая, что предлагаемое учебное пособие предназначено для строительной специальности, здесь будут рассмотрены только те разделы геологической науки, которые необходимы для ясного представления о предмете инженерной геологии. Важнейшими из разделов (отраслей) знаний наук о Земле являются:

Минералогия. Земная кора состоит из химических элементов и их соединений, большей частью кристаллического строения, которые называются минералами. Большинство этих веществ широко используются человеком для различных нужд и носит название полезных ископаемых. С точки зрения строителей, например, многие минералы являются естественным строительным камнем, либо сырьем для производства различных строительных материалов. Совершенно ясно, что для целесообразного использования минералов в строительном деле необходимо иметь определенный запас знаний об этих веществах. Минералогия является той отраслью геологических знаний, которая изучает условия образования и изменения, состав, свойства и области использования минералов.

Петрография. В процессе формирования земной коры обширные ее участки образованы либо определенными минералами, либо, чаще, комплексами минералов, возникающими в сходных условиях. Такие комплексы минералов или отдельные минералы, составляющие значительные участки земной коры, называются горными породами. Из этого следует, что непосредственными объектами, с которыми приходится сталкиваться при ведении строительных работ, являются не минералы, а горные породы. Совершенно очевидно, что для правильного инженерного решения разнообразных вопросов строительного производства необходимо иметь определенные представления о горных породах. Петрография и является такой отраслью геологических знаний, которая изучает

условия образования и изменения, состав и свойства, а также особенности распространения и использования горных пород.

Литология. Среди горных пород, слагающих верхнюю часть земной коры, наиболее широко распространены те горные породы, которые формируются на поверхности Земли или вблизи ее. Эти горные породы называются осадочными. В связи с тем, что инженерная деятельность человека сосредоточена в самых верхних горизонтах земной коры, объектами этой деятельности являются главным образом осадочные горные породы, характеризующиеся рядом особенностей. Литология является той отраслью геологических знаний, которая изучает условия образования и распространения, а также состав и свойства осадочных горных пород.

Общая (динамическая) геология. Земная кора, кажущаяся на первый взгляд незыблемой, в действительности все время находится в движении, изменении и преобразовании. Причиной этих изменений являются воздействия на земную кору энергии, таящейся в недрах Земли, а также различных космических факторов, важнейшим из которых является тепловая энергия Солнца. Процессы и явления, развивающиеся при этом, оказывают огромное влияние на условия ведения строительных работ и эксплуатацию сооружений. Общая геология является той отраслью геологических знаний, которая изучает различные физико-геологические процессы и явления, происходящие в земной коре на протяжении длительного времени ее существования и их влияние на динамику развития земной коры.

Гидрогеология. Во многих местах земной коры наблюдаются трещины и пустоты, заполненные водами, которые называются подземными. Эти воды оказывают существенное влияние на физические свойства горных пород и условия ведения строительных работ. Они также широко используются в народном хозяйстве для снабжения водой заводов, фабрик, населенных пунктов, орошения полей и других целей. Совершенно очевидно, что сведения о подземных водах необходимы для принятия обоснованных инженерных решений при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений. Гидрогеология является той отраслью человеческих знаний, которая изучает условия образования и распространения, состав и свойства подземных вод, а также их влияние на физические свойства горных пород и условия ведения строительных работ.

Инженерная геология. При проектировании, возведении и эксплуатации инженерных сооружений приходится сталкиваться с различными условиями ведения строительных работ, что вызвано разнообразием

ем свойств горных пород и физико-геологических процессов, протекающих в земной коре. Инженерная геология изучает динамику и свойства верхних горизонтов земной коры в связи с инженерной деятельностью человека.

Инженерная геология является обширной отраслью геологических знаний и состоит из ряда разделов. В настоящем курсе будут рассмотрены важнейшие из них, что позволит студентам строительной специальности ознакомиться с теми инженерно-геологическими материалами, которые являются основой для проектирования и строительства инженерных сооружений. Кроме того, эти сведения во многом будут способствовать изучению курсов по механике грунтов, основаниям сооружений, естественным строительным материалам.

Особенно важным для строителей являются следующие разделы инженерной геологии.

1. ***Инженерная петрология (грунтоведение)***. Горные породы верхней части земной коры, расположенные в сфере воздействия инженерных сооружений, называются грунтами. При проектировании и строительстве сооружений необходимо иметь сведения о важнейших физических свойствах грунтов. Эти сведения чрезвычайно важны для строительного производства, так как некоторые величины, характеризующие свойства грунтов, являются прямыми расчетными показателями и непосредственно используются при расчете конструкций, форм и размеров оснований сооружений. Грунтоведение является таким разделом инженерной геологии, который изучает условия образования и изменения, состав и свойства грунтов, а также особенности их взаимодействия с инженерными сооружениями.

2. ***Инженерная геодинамика (собственно инженерная геология)***. Физико-геологические процессы, происходящие в грунтах, иногда крайне неблагоприятно влияют на ведение строительных работ и эксплуатацию сооружений. В связи с этим необходимо знать не только характер, но и направление развития этих процессов в будущем. Инженерная геодинамика является тем разделом инженерной геологии, которая изучает физико-геологические процессы (естественные и вызванные воздействием сооружений) с целью их качественной и количественной оценки для выбора мероприятий по наиболее рациональному использованию грунтов для строительства и борьбе с неблагоприятными явлениями на протяжении всего времени эксплуатации сооружений.

3. Региональная инженерная геология. Физические свойства грунтов, особенности физико-геологических процессов, определяющие характер строительных работ, обычно объединяются в понятие инженерно-геологических условий. Эти условия в различных регионах (областях) заметно отличаются, что обусловлено особенностями геологического развития отдельных участков земной коры. Для выбора наиболее рациональных мест размещения новых промышленных комплексов и населенных пунктов необходимо иметь представление об инженерно-геологических условиях и их изменениях на обширных территориях. Региональная инженерная геология является таким разделом инженерной геологии, который изучает закономерности пространственного распределения инженерно-геологических условий.

Как видно из изложенного, инженерная геология тесно связана с другими отраслями наук о Земле. Кроме того, она связана с такими фундаментальными науками как физика, химия, биология и др. Основополагающими для этой науки, как и других отраслей человеческих знаний, является материалистическое понимание мира.

Краткие сведения из истории развития геологических знаний

Чтобы по достоинству оценить значение геологии и инженерной геологии в частности необходимо, хотя бы вкратце, остановиться на истории развития этой науки.

Геология, в самом широком понимании, несомненно, является одной из самых древних отраслей человеческих знаний. Она развивалась вместе со становлением человека, как существа разумного, и формировала человеческое общество. Первыми орудиями труда были обломки минералов и горных пород, а в последующем изделия из них. По мере накопления сведений о минералах и горных породах человек научился выплавлять из них металл, использовать их для строительства сооружений, изготавливать из них произведения искусства. Таким образом, расширение геологических знаний способствовало развитию человеческой цивилизации. Выдающийся геолог академик А. Е. Ферсман говорил, что «история камня переплетается с общей историей культуры, науки и искусства». Действительно, самые выдающиеся памятники материальной культуры были созданы из минералов и горных пород. В памятниках духовной культуры — сказаниях, преданиях, песнях почти всегда упоминаются чудесные творения природы (разнообразные минералы и горные породы), питавшие художественное творчество человека.

На территории нашей страны установлены места добычи серебряных и медных руд, а также изделия из них, относящиеся к глубокой древности.

Первые организованные исследования относятся к середине XVI века, когда в Москве был создан «Каменный Приказ» — учреждение, обеспечивавшее естественными каменными строительными материалами работы по возведению оборонительных сооружений, возведению первой каменной плотины на Москва-реке.

Интенсивное накопление геологических знаний относится к началу XVIII века, когда были открыты месторождения железных руд в центральной России и на Урале, каменного угля в Донбассе и др. В 1757 г. была опубликована работа М. В. Ломоносова «Слово о рождении металлов от трясения Земли», а в 1763 г. «Первые основания металлургии или рудных тел». Работы М. В. Ломоносова составили целую эпоху в развитии геологических знаний.

Строительство каменных зданий при застройке Петербурга способствовало накоплению знаний о естественных каменных строительных материалах и грунтах, как основаниях сооружений. В это же время были открыты месторождения железных руд на Урале, Алтае, начаты разработки каменного угля в Донбассе и т.д.

К середине XVIII века относится издание первого отечественного руководства по инженерной геологии — работы Григория Махотина «Мемориальная записка о заводском производстве», в которой излагалось обоснование по строительству заводских сооружений. В 1816 г. была опубликована работа Дмитрия Лачинова «Рассуждение о устройении и укреплении плотин», содержащая элементы инженерной геологии, грунтоведения, механики грунтов для целей гидротехнического строительства.

Общие геологические исследования, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке, связанные, прежде всего, со строительством транссибирской железной дороги, производились в конце XIX века Геологическим комитетом, созданным в 1882 году. К началу XX века были довольно детально изучены геологическое строение, инженерно-геологическое строение, инженерно-геологические условия и полезные ископаемые Донбасса, Кривого Рога, Урала и других районов. Эти работы связаны с именами выдающихся отечественных ученых: А. П. Карпинского, И. В. Мушкетова, В. А. Обручева, Л. И. Лутугина, Д. С. Белянкина, Ф. П. Саваренского и многих других.

Невиданного размаха достигли геологические исследования после 1917 года и особенно с началом планового развития народного хозяйства. При этом геологическими исследованиями покрыта вся территория Украины, выявлены многие месторождения полезных ископаемых, изучены инженерно-геологические условия обширных территорий, разработаны многие положения теоретической геологии, способствующие решению практических задач.

В настоящее время 80 % всех потребностей человечества удовлетворяется за счет полезных ископаемых, извлекаемых из недр Земли. Современное индустриально развитое государство нуждается в огромных количествах металлов, угля, нефти, горючих газов, минеральных удобрений, строительных материалов и других веществ. Геологическими исследованиями последних десятилетий на территории СНГ открыты месторождения, содержащие свыше 50 % мировых запасов углей, около 80 % марганцевых руд. СНГ занимает первое место в мире по запасам нефти, горючих газов, железных руд и других полезных ископаемых. Поистине неисчерпаемы запасы разнообразных естественных строительных материалов. Нет таких полезных ископаемых, которые не были бы известны в недрах СНГ, в количествах, достаточных для развития промышленности. Геологические исследования последних десятилетий связаны с именем выдающихся ученых-геологов А. Д. Архангельского, А. Е. Ферсмана, Н. С. Шатского, Н. М. Страхова, Н. В. Белова и многих других.

Задачи дальнейшего развития народного хозяйства требуют и постоянного расширения минерально-сырьевой базы, изучения условий ведения строительных работ, особенно во вновь осваиваемых районах, а следовательно, увеличения геологических исследований, имеющих важное значение для развития экономического могущества страны.

1. МИНЕРАЛОГИЯ

(ГЛАВНЕЙШИЕ ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ)

Название науки происходит от латинского слова «*минера*» — кусок руды.

Минералами называются вещества, имеющие довольно постоянный химический состав, образующиеся при определенных физико-химических и термодинамических условиях и кристаллизующиеся в определенной системе кристаллизации. Незначительное количество минералов находится в природе в жидком и газообразном состоянии (вода, нефть, природные газы и др.). Земная кора состоит из различных минералов, поэтому для оценки условий ведения строительных работ необходимо прежде всего ознакомиться с составом и свойствами минералов. Кроме того, минералы являются частью естественных строительных материалов или сырьем для их изготовления.

Здесь будут изложены только те основные положения минералогии, которые позволят уяснить условия образования и распространения, состав и свойства главнейших породообразующих минералов, т.е. тех, которые составляют основную часть земной коры. Более детальные сведения о минералах можно почерпнуть в соответствующих учебниках по курсу минералогии.

1.1 Условия образования и распространения минералов

Распространение минералов в земной коре обусловлено химическим составом вещества Земли и условиями формирования минералов. На основании многочисленных анализов определены средние содержания химических элементов в земной коре, которые принято называть кларковыми содержаниями или просто кларками (по имени американского геохимика Ф. У. Кларка, который впервые в 1889 г. обобщил сведения о среднем химическом составе земной коры). Числовые значения средних содержаний уточняются по мере накопления данных, однако совершенно определенно известно, что только некоторые химические элементы составляют существенную часть минералов и горных пород, а остальные содержатся в весьма малых количествах. В округленных величинах кларковые содержания наиболее распространенных элементов в земной коре (в процентах) следующие: O — 47,2 %; Si — 27,6; Al — 8,8; Fe — 5,1; Ca — 3,6; Na — 2,64; K — 2,6; Mg — 2,1; Ti — 0,6; H — 0,15; C — 0,1; Cu — 0,01.

Из этого следует, что наиболее распространенными минералами будут те, в состав которых входят главнейшие химические элементы (O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, K и некоторые другие). По распространению минералов в горных породах земной коры выделяются следующие 3 группы: породообразующие (составляющие основную часть горных пород), второстепенные (содержание их не превышает 10 %) и акцессорные (содержащие их менее 1 %).

В связи с этим важнейшее внимание в этом курсе будет уделено главнейшим породообразующим минералам. Условия образования минералов в значительной мере определяют их распространение в отдельных типах горных пород, а также обуславливают их важнейшие физические свойства. По генезису (от латинского «генеос» — рождение, происхождение) выделяются три главных типа — магматические, осадочные и метаморфические.

Магматический процесс — минералы, образующиеся при высоких температурах и обычно значительных давлениях из магмы — огненно-жидкого расплава вещества Земли по мере его остывания и кристаллизации. Процесс этот очень сложный с точки зрения химических преобразований и довольно длительный. Обычно выделяют несколько стадий этого процесса минералообразования:

1. **Собственномагматическая** стадия (от «магма» — силикатный расплав), протекающая при высоких температурах, примерно 1400 (1200)–850°C. На этой стадии происходит формирование наиболее высокотемпературных (тугоплавких) минералов.

2. **Пегматитовая** стадия (по названию горных пород пегматитов) протекает в интервале температур примерно 800–600°C. На этой стадии часто происходит образование довольно крупных кристаллов.

3. **Пневматолитовая** стадия (от слова «пневма» — газ) протекает в интервале температур от 600° до 375°C. При этом из магматического расплава происходит бурное выделение газов.

4. **Гидротермальная** стадия (от слов «гидро» — вода, «термос» — температура) происходит в интервале температур от 375°C до 50°C. Нижняя граница принята условно. На этой стадии происходит образование воды, чем обусловлено своеобразие процессов минералообразования.

5. **Осадочный** процесс минералообразования происходит на поверхности Земли или вблизи нее при нормальном атмосферном давлении и невысоких температурах. При этом минералы формируются как вторичные образования из ранее образовавшихся минералов. В результате раз-

личных физико-химических преобразований происходит разрушение и преобразование каких-либо минералов и образование новых. Первоначально происходит разрушение (процесс выветривания), а затем накопления (осаждения) вновь образованных минералов. Отмечаются три важнейших фактора, способствующих образованию минералов и накопление в новых местах, либо происходит полное разрушение, растворение и образование совершенно новых минералов, как результат процессов взаимного обмена, либо при выпадении из пересыщенных растворов.

6. **Метаморфический** процесс минералообразования происходит под воздействием на ранее образованные минералы высоких температур или давления, а чаще всего обоих факторов совместно. При этом наблюдается 2 стадии преобразования изначальных минералов. При незначительных давлениях и температурах или непродолжительном действии образуются метаморфизованные минералы, сохраняющие первоначальный состав, но подвергающиеся либо дроблению, либо уплотнению и перекристаллизации. При более интенсивных преобразованиях формируются метаморфические минералы, которые полностью отличаются от исходных и характеризуются только им присущими составом и кристаллографическими формами.

1.2 Важнейшие физические свойства минералов

Существенные различия в условиях образования способствуют тому, что минералы обладают не только различным составом, но и различными физическими свойствами. Различие же физических свойств предопределяет возможность и целесообразность использования минералов для различных целей. Кроме того, по этим свойствам производится определение наиболее распространенных в природе минералов.

При детальном минералогическом исследовании применяются самые разнообразные методы. Для целей инженерной геологии свойства минералов обычно оцениваются визуально, т.е. на глаз.

Важнейшими физическими свойствами минералов являются морфологические особенности, цвет, цвет черты, блеск, прозрачность, удельный вес и некоторые другие.

Морфологические особенности минералов иногда бывают весьма характерными для кристаллов некоторых минералов. К ним относятся облик кристаллов, обусловленный как внутренним строением, так и условиями кристаллизации. В связи с этим кристаллы, формирующиеся в самом начале образования кристаллических фаз, образуют правильные

многогранники изометричной или вытянутой формы. В последующем, когда часть вещества переходит в твердое состояние и возникают помехи для роста кристаллов образуются зернистые агрегаты неправильной формы. На гранях кристаллов иногда образуются характерные уступы, вытянутые в определенном направлении, создающие скульптуру граней, характерную для некоторых минералов.

Цвет минералов бывает самым разнообразным и иногда настолько характерным, что является одним из важнейших признаков для визуального определения минерала. У некоторых минералов, вследствие отражения света от поверхности граней возникает изменение окраски — так называемая побежалость (например, у халькопирита) или иризация (например, у лабрадорита, опала). Это свойство некоторых минералов обуславливает их применение в качестве ювелирных или облицовочных материалов.

Цвет черты представляет собой цвет порошка минерала, который у некоторых минералов отличается от цвета минерала (например, у пирита), что является весьма важным диагностическим признаком. Минералы образуют черту на шероховатой поверхности фарфоровой пластинки или на грани более твердого минерала.

Блеск минералов является следствием отражения света от поверхности минерала. Различают алмазный, металлический, стеклянный, жирный, шелковистый, перламутровый блеск. Незначительное количество минералов имеет матовую поверхность.

Прозрачность определяется способностью минералов пропускать свет. Различают прозрачные минералы, через которые отчетливо видны предметы, полупрозрачные, через которые наблюдаются только контуры предметов, просвечивающие, в которых свет проходит только через тонкие пластинки и непрозрачные, через которые свет не проходит.

Спайность — способность минералов сравнительно легко отделяться от общей массы в одном или нескольких направлениях, образуя при этом гладкие поверхности. Это свойство обусловлено строением кристаллической решетки. Различают несколько видов спайности. Весьма совершенная спайность — у минерала отделяются тончайшие листочки (слюды, некоторые хлориты). У минералов, обладающих весьма совершенной спайностью очень редко наблюдается излом. Совершенная спайность — при скалывании образуются гладкие поверхности (кальцит, полевые шпаты, галит). Неровный излом образуется с трудом. Средняя (ясная) спайность — на отделенных от общей массы частях минералов

наблюдаются как плоскости спайности, так и изломы (роговая обманка, оливин). Несовершенная (неясная) спайность показывает практически отсутствие спайности, которая с трудом наблюдается на некоторых частях кристаллов (кварц, апатит и др.). Излом в этих случаях чаще раковистый или неровный.

Излом, являющийся одним из характерных признаков минералов, связан со спайностью. Различают ровный излом, обычно характерный для минералов с совершенной спайностью; ступенчатый излом, наблюдающийся минералов с совершенной и ясной спайностью (полевые шпаты, гранаты); неровный (землистый) излом характерен для минералов с несовершенной спайностью и отличается неровностями без блестящих участков (apatит и др.); раковистый излом характерен для минералов у которых отсутствует спайность (кварц и др.) и напоминает гладкую поверхность раковины; занозистый излом характерен для минералов столбчатого и волокнистого сложения (гипс) и напоминает поперечный излом дерева.

Твердость характеризует сопротивление минерала проникновению в него посторонних предметов. В минералогии определяется относительная твердость путем сопоставления этого показателя с твердостью некоторых эталонных минералов, обладающих довольно постоянным значением этого показателя. С этой целью используется десятибалльная шкала Мооса (по имени немецкого минералога Ф. Мооса), представленная минералами, каждый последующий из которых острым концом царапает все предыдущие (табл. 1.1). Кроме того используются и вспомогательные предметы для приблизительного определения твердости в полевых условиях. Испытание минералов на твердость производится в свежих изломах. В шкале Ф. Мооса порядковый номер эталонного минерала соответствует числовому значению относительной твердости по десятибалльной шкале.

Следует иметь в виду, что твердость минералов как тел кристаллических, характеризуется анизотропностью, т.е. в различных направлениях в кристалле она не одинакова. Кроме того, тонкопористые и порошковатые разности минералов обладают ложно малыми твердостями, являющимися следствием слабого сцепления частиц в тонкодисперсных массах.

Шкала твердости минералов Ф. Мооса

№ пп	Название минерала	Твердость по Ф. Моосу	Вспомогательные признаки
1	Тальк	1	легко чертится ногтем
2	Гипс	2	с трудом чертится ногтем
3	Кальцит	3	легко чертится ножом
4	Флюорит	4	с трудом чертится ножом
5	Апатит	5	не чертится ножом и не чертит стекло
6	Ортоклаз	6	слегка чертит стекло
7	Кварц	7	чертит стекло
8	Топаз	8	легко чертит стекло, каждый последующий чертит предыдущий
9	Корунд	9	
10	Алмаз	10	

Удельный вес минералов колеблется в значительных пределах от 1 (а газообразные и некоторые жидкие меньше 1) до 23. Но наиболее распространенные минералы обладают близкими удельными весами (порядка 2,5–3), что затрудняет определение этого показателя в полевых условиях. Только некоторые минералы с удельным весом 5 и более (барит, магнетит и др.) можно с определенной достоверностью определить таким способом.

Важное значение имеют также другие физические свойства минералов — гибкость, упругость, магнитность, электрические свойства, радиоактивность и прочее, но для инженерно-геологических целей они обычно не определяются и поэтому здесь не рассматриваются.

1.3 Формы минеральных агрегатов

Различие в составе и условиях образования минералов способствуют возникновению разнообразных форм минеральных агрегатов. В природе редко наблюдаются минеральные агрегаты, состоящие из одного минерала; условия образования чаще приводят к возникновению полиминеральных агрегатов, состоящих из нескольких минералов, образующихся в сходных условиях.

Необходимо иметь в виду, что особенности условий образования и характер строения минералов способствуют возникновению некоторых явлений, оказывающих существенное влияние на формы минеральных агрегатов. Явление **изоморфизма** (от греческих слов «изо» — равный, «морфе» — форма) заключается в том, что вещества различного химического состава имеют сходное кристаллическое строение. В связи с

этим часто образуются смеси минералов с одинаковой кристаллической структурой и разные минералы имеют одинаковые кристаллические формы.

Полиморфизм (от греческого «поли» — много, «морфе» — форма) состоит в том, что одно и то же вещество при различных условиях образования (температура, давление) может приобретать различные формы, поэтому некоторые минералы при различных условиях кристаллизации приобретают совершенно разные формы.

Псевдоморфозы (от греческого «псевдо» — ложный, «морфе» — форма) — это явление, при котором по мере разрушения какого-либо минерала происходит замещение освободившегося пространства другим минералом и новый минерал приобретает форму, не характерную для его кристаллического строения.

Однако также следует иметь в виду, что минералы, имеющие близкий или сходный состав и строение, в природе часто находятся рядом, так как образуются в сходных условиях. Это явление называется **парагенезисом** минералов (от греческого «пара» — два, «генеос» — рождение, т.е. совместное нахождение). Это явление широко используется при определении и поисках минералов, так как наличие какого-либо определенного минерала указывает на возможность наличия здесь других минералов, ему сопутствующих.

В природе встречаются разнообразные агрегаты минералов, но наиболее распространенными являются несколько форм нахождения минералов в природе (минеральных агрегатов).

Зернистые агрегаты являются наиболее распространенной формой минеральных агрегатов. Это вполне естественно, поскольку многие минералы формируются в сходных условиях и при росте кристаллов возникают помехи, приводящие к формированию не правильно ограненных кристаллов, а зернистых агрегатов, в которых кристаллы отдельных минералов имеют неправильную форму. При этом формируются изометричные, зернистые, листоватые, чешуйчатые, шестоватые, волокнистые и другие по форме агрегаты.

Друзы представляют собой группу правильно ограненных кристаллов одного или нескольких минералов, имеющих общее основание. Сходными с ними являются щетки, обычно образующие густо расположенные небольшие по размерам кристаллы минералов. Щетки и друзы часто формируются на стенках пустот, располагаясь основанием перпендикулярно плоскости пустот или трещин.

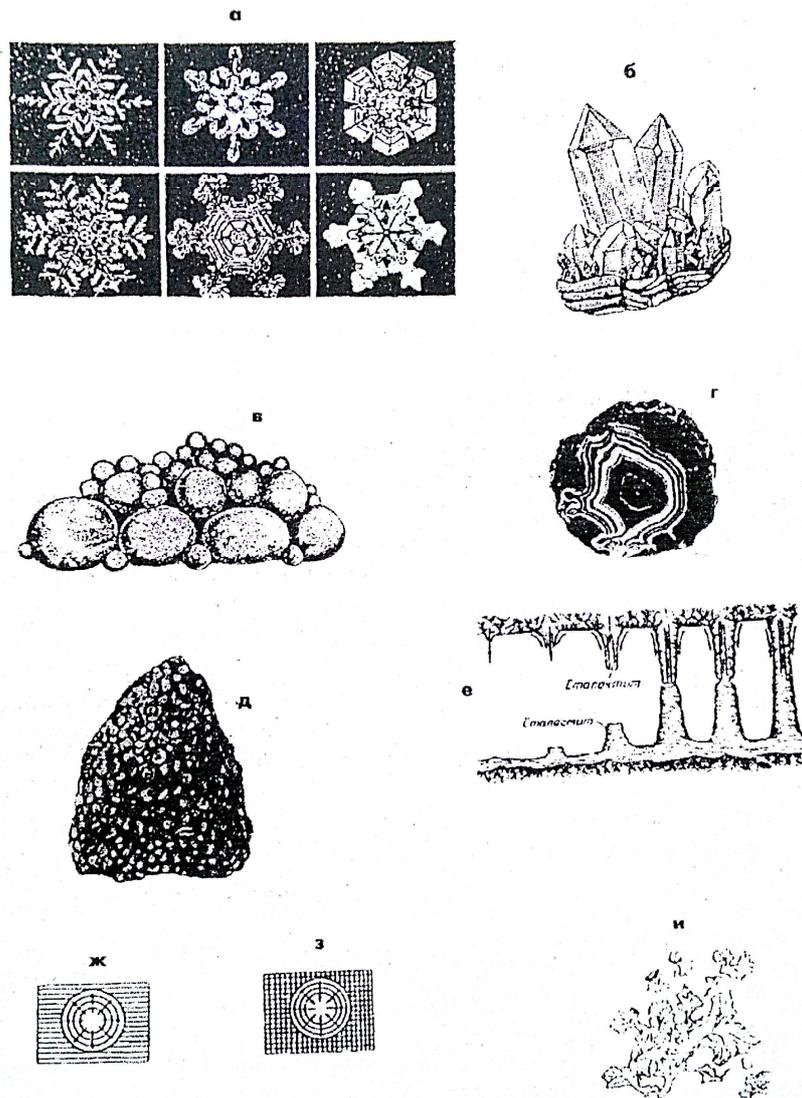


Рисунок 1.1 — Главнейшие типы минеральных агрегатов:
 а — дендриты (снежинки); б — друзы; в — конкреции фосфоритов; г — секреция (агат); д — оолитовые стяжения; е — натежные формы (сталактиты и сталагмиты); ж — схема развития конкреции; и — схема роста секреции; к — дендриты самородного серебра

Конкреции представляют собой радиально-лучистые агрегаты, у которых от единого центра кристаллизации наблюдается рост кристаллов (обычно удлиненной формы) к периферии в виде лучей. По форме конкреции бывают шаровидными, линзовидными, желвакообразными, а также стяжениями неправильной формы. Изредка наблюдаются конкреции концентрически-скорлуповатого и сплошного строения.

Секреции представляют собой минеральные агрегаты, возникающие при заполнении пустот, в которых кристаллы растут от периферии к центру. Иногда в центре наблюдается пустота, не заполненная минера-

лом. Крупные, частично заполненные кристаллами секрции, называют жеодами, а мелкие — миндалинами.

Оолиты представляют собой шарообразные или овальные образования концентрически скорлуповатого строения размером не более 2 мм в диаметре.

Сферолиты аналогичны оолитам по форме и размерам, но характеризуются радиально-лучистым строением.

Таким образом, конкреции, оолиты и сферолиты являются сходными формами минеральных агрегатов различных размеров. Эти формы минеральных агрегатов чаще всего бывают сложены кальцитом, арагоном, доломитом, сидеритом, лимонитом и др.

Натечные формы образуются при натекании растворов каких-либо веществ на ранее сформировавшиеся минеральные образования. При этом возникают почковидные и гроздевидные агрегаты, сталактиты и сталагмиты, столбы, корки, налеты, выцветы, землистые агрегаты, дендриты и др.

Сталактиты представляют собой образования, подобные ледяным сосулькам, формирующиеся в пустотах в результате образования минералов при накоплении вещества из растворов, падающих сверху вниз.

Сталагмиты — такие же агрегаты, формирующиеся на нижней поверхности пустот там, где падают капли со сталактитов. В связи с особенностями образования сталактиты и сталагмиты отличаются внутренним строением. В конечном итоге сталактиты и сталагмиты могут соединиться, образуя столбы.

Корки, выцветы и налеты представляют собой тонкие слои минералов, горных пород или подземных конструкций.

Землистые агрегаты имеют форму комков земли.

Дендриты (от греческого «дендрос» — дерево) напоминает листочки и стебельки растений.

Натечные формы образуются большей частью из коллоидных растворов при их кристаллизации.

1.4 Принципы классификации минералов

В природе известно несколько тысяч минералов. Чтобы можно было оценить значение, свойства, условия использования и прочее, минералы обычно разделяют на группы, т.е. классифицируют их. Существуют различные классификации, в зависимости от их назначения — генетическая

классификация (по условиям образования минералов), промышленная (по их практическому использованию) и др.

Для целей минералогии наиболее удобной является структурно-химическая классификация. В соответствии с этой классификацией все минералы разделяются на типы в зависимости от характера кристаллических структур и существующих в них связей. Типы подразделяются на классы по химическому составу, при этом они выделяются по характеру анионов, т.е. кислотному остатку, определяющему силу соответствующей кислоты. Более подробные деления осуществляются на основании кристаллических признаков структуры, в которой важное значение имеет наличие добавочных анионов или молекул воды.

Таблица 1.2

Классификация минералов

I Тип простых веществ	1. Класс самородных металлов 2. Класс самородных неметаллов
II Тип сульфидов	1. Класс моносульфидов 2. Класс полисульфидов
III Тип основных гидроксидов	1. Класс оксидов 2. Класс гидроксидов
IV Тип солей кислородных кислот	1. Класс силикатов 2. Класс боратов 3. Класс фосфатов 4. Класс карбонатов 5. Класс вольфраматов 6. Класс сульфатов 7. Класс нитратов
V Тип галоидов	1. Класс фторидов 2. Класс хлоридов
VI Тип углеводородных соединений	1. Класс ископаемых смол 2. Класс липтобиолитов

1.5 Описание минералов

В связи с тем, что для инженерно-геологических целей существенное значение имеют только главные породообразующие минералы, в этом курсе будут рассмотрены только некоторые типы или классы мине-

ралов. Рассмотрение этих минералов необходимо, так как большинство из них определяет свойства горных пород, как оснований сооружений и как естественных строительных материалов, используемых для различных нужд строительного производства. Умение визуально определять наиболее распространенные минералы и позволит строителям правильно оценивать состав различных горных пород и возможность использования их в качестве естественных строительных материалов или оснований сооружений.

В связи с этим проводится описание следующих групп минералов: самородные элементы, сульфиды, окислы, фосфаты, галоиды, сульфаты, карбонаты, силикаты.

Такой порядок описания позволит знакомиться с минералами, постепенно переходя от более простых по составу, к более сложным.

При описании минералов главное внимание обращается на те признаки, которые могут быть оценены визуально и которые имеют важное значение для оценки возможности использования минералов или определяют свойства горных пород, в состав которых они входят.

Следует иметь в виду, что названия минералам присваиваются по различным признакам. Чаще всего их называют по имени открывателя минерала или других лиц. Кроме того, минералы называются по физическим свойствам, химическому составу, географическому признаку. Некоторые названия минералов потеряли первоначальный смысл, но сохраняются в том виде, как они были названы.

1.5.1 Самородные элементы. К этому классу относятся минералы, состоящие из одного химического элемента. В самородном виде в земной коре установлено около 30 химических элементов в твердом, газообразном и жидком состоянии. Среди твердых самородных элементов преобладают металлы, при этом некоторые из них почти исключительно встречаются в самородном виде (благородные металлы). Они обладают высокими удельными весами, химической стойкостью, высокой ковкостью и электропроводностью, в связи с чем широко используются для различных народнохозяйственных целей. Чаще других в самородном состоянии встречаются золото, платина, серебро, осмий, иридий, медь, железо, ртуть, а также сера и углерод. Подавляющее большинство этих минералов образовались при магматических процессах минералообразования и только некоторые формируются также при метаморфических и осадочных процессах.

Графит — С (от греческого «графо» — пишу). Цвет железно-черный и стально-серый. Черта черная, блестящая. Блеск металлический, у скрытокристаллических разновидностей матовый. Спайность совершенная в одном направлении. Твердость 1–2. Удельный вес 2,09–2,23. Жирный на ощупь. Легко распознается по оставляемой на предметах черте. Широко распространен среди метаморфических пород, а также в магматических и на контактах магматических масс с карбонатами. Применяется для изготовления тиглей, электродов, производстве карандашей, смазки, красок.

Алмаз — С (от греческого «адамас»). Цвет разнообразный — голубоватый, желтоватый, зеленый, черный. Блеск сильный — алмазный. Спайность средняя. Твердость — 10. Удельный вес 3,47–3,56. Распознается по самой высокой твердости и сильному блеску. В ультрафиолетовых лучах проявляется сильная люминесценция, что используется при добыче алмазов. Большею частью встречается в виде мелких зерен. В связи с этим для алмазов принята особая мера веса — карат (около 0,2 гр). Ограниченные кристаллы алмазов, используемые в ювелирном деле как драгоценные камни, называются бриллиантами. Наиболее крупные имеют собственные наименования. Крупнейшие в мире алмазы были обнаружены в месторождении Южной Африки — «Коллинан» — 3025 каратов, «Эксцельсиор» — 995, 2 карата и ряд других. В алмазном фонде России находятся крупные алмазы: «26 съезд КПСС» — 342,5 карата, «40 лет Победы» — 291,6 карата, «Орлов» — 199,6 карата, «Шах» — около 100 каратов и другие.

Алмазы образуются среди ультраосновных магматических пород: кимберлитов, перидотитов и др. Широко используются как незаменимый материал (ввиду максимальной твердости) для обработки металлов, горных пород и минералов. Учеными разработано и широко применяется промышленное производство синтетических алмазов. Широко используются в ювелирном производстве.

Сера — S. Цвет желтый (с различными оттенками), бурый и черный. Черты почти не образует, порошок слабо желтый. Блеск стеклянный, в изломе жирный. Спайность несовершенная. Твердость 1–2. Удельный вес 2,05–2,08. Распознается по цвету, блеску, малой твердости. При трении издает легкий запах, растрескивается. Образуется как про-

дукт возгонки при вулканических извержениях, при окислении и разложении сульфидов и сульфатов биохимическим путем в результате жизнедеятельности серобактерий. Применяется для производства серной кислоты, в резиновом производстве, при производстве спичек, как средство борьбы с вредителями растений и др.

1.5.2 Сульфиды и близкие к ним минералы. Этот класс минералов представляет собой соединения различных элементов с серой. Это довольно широко распространенные минералы. Чаще всего встречаются сульфиды железа и значительно реже сульфиды таких металлов, как свинец, цинк, ртуть и др. Важное значение минералов этого класса состоит в том, что некоторые из них являются важными рудами для получения цветных металлов. Формировались эти минералы преимущественно на гидравлической стадии магматического процесса минералообразования. Значительная часть их образуется также при осадочных процессах в восстановительной среде (зона вторичного сульфидного обогащения).

Пирит — FeS_2 (от греческого «пирос» — огонь). Цвет латунно-желтый. Черта черная, иногда с зеленоватым оттенком. Блеск металлический. Спайность несовершенная, практически отсутствует. Твердость 6–6,5. Удельный вес 4,9—5,2. Легко распознается по цвету, блеску и черной черте, высокой твердости (чертит стекло). При ударе дает искры. У хорошо ограненных кристаллов характерна скульптура граней в виде штриховатости, ориентированной перпендикулярно к каждой соседней грани. Часто встречается в виде сплошных зернистых масс и конкреций, а также псевдоморфоз по органическим остаткам. Генезис разнообразный, формируется при гидротермальной стадии в парагенезисе с другими сульфидами, в процессе контактного метаморфизма, а также при осадочных процессах минералообразования, где пирит часто образует в восстановительной среде псевдоморфозы по органическим остаткам. Используется для производства серной кислоты.

Халькопирит — CuFeS_2 (от греческого «халькос» — медь, «пирос» — огонь). Цвет латунно-желтый, обычно с пестрой побежалостью. Черта черная с зеленоватым оттенком. Блеск металлический. Спайность несовершенная. Твердость 3–4. Удельный вес 4,1–4,3. Легко отличается от пирита цветами побежалости, а в хорошо ограненных кристаллах отсутствуют скульптуры граней, характерной для пирита. По генезису

магматический, часто образуется на гидротермальной стадии минералообразования. Очень редко образуется в зоне вторичного сульфидного обогащения. При выветривании часто преобразуется в малахит. Является главной рудой для получения меди.

Галенит — **PbS** (от латинского «галена» — свинцовая руда). Цвет свинцово-серый. Черта серовато-черная. Блеск металлический. Спайность весьма совершенная. Твердость 2–3. Удельный вес 7,4–7,6. Легко распознается по сильному металлическому блеску, высокому удельному весу и весьма совершенной спайности. Образуется почти исключительно при гидротермальных процессах минералообразования. Является важнейшей рудой для получения свинца. Используется при изготовлении красок.

1.5.3 Окислы. К этому классу относятся минералы, являющиеся соединениями различных химических элементов с кислородом. Это довольно широко распространенный класс минералов. Весовое содержание окислов в земной коре составляет около 17 %. Минералы этого класса образуются практически при всех процессах минералообразования, что обусловлено широким распространением в природе кислорода и его высокой химической активностью. Эти минералы имеют важное значение, поскольку некоторые (например, кварц) относятся к главнейшим породообразующим минералам, а другие являются ценными полезными ископаемыми. Сюда относятся, в частности, большинство качественных руд черных металлов.

Кварц — **SiO₂**. Цвет минерала самый разнообразный — белый, прозрачный, фиолетовый, черный и др. Блеск стеклянный. Спайность весьма несовершенная (практически отсутствует). Излом раковистый. Твердость 7. Удельный вес 2,5–2,8. Легко распознается по характерным формам кристаллов, а также высокой твердости, излому, блеску. Существует много разновидностей кварца. Наиболее широко распространены бесцветные, белые и серые цвета. Прозрачные и окрашенные разновидности применяются в ювелирном производстве и имеют свои названия: прозрачный — горный хрусталь; фиолетовый — аметист; дымчатый — раухтопаз; черный — морион; золотисто-желтый — цитрин. Кроме того при наличии включений других окрашенных минералов наблюдается: празем-зеленоватый кварц с включением игольчатых кристалликов;

авантюрин — желтоватый и красноватый с включениями различных слюд, а при замещении кварцем волокнистых минералов (асбеста и др.) — кошачий, тигровый и соколиный глаз, имеющий различные оттенки с шелковистым отливом. Кроме явно кристаллических существуют скрытокристаллические разновидности волокнистого строения — халцедоны. Они характеризуются разнообразием окраски и формами рисунка. Часто встречаются халцедоны синеватые (сапфиры), желтые, красные, оранжевые (сердолик или карнеол), коричневые (сардар), зеленые (плазма), ярко-зеленые (хризопраз), зеленые с красными пятнами (гелиотроп), белые (кахчолонг) и др. Иногда наблюдаются разновидности концентрически-зональной окраски (агат) или слоистой (оникс). Скрытокристаллическая (по существу аморфная) разновидность, обогащенная водой ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) называется опал. Отмечается благородный опал (с красивой игрой цветов), гидрофан (мутноватый) и гиалит (прозрачный). Образуется при магматических, метаморфических и осадочных (особенно скрытокристаллический) процессах минералообразования. По кристаллическому строению этот минерал близок к силикатам, поэтому некоторые исследователи считают его составной частью минералов класса силикатов. Кварц имеет широкое практическое применение. Как составная часть различных горных пород используется в качестве разнообразных строительных и абразивных материалов. Является основным материалом для производства стекла. Используется в радиотехнике (пьезокварц), точной механике, оптике, в качестве поделочного камня в ювелирном производстве. Для ювелирных изделий применяются и окрашенные разновидности кварца, а также разновидности опала и халцедона.

Магнетит — Fe_3O_4 . Цвет черный, иногда с синеватой побежалостью. Черта черная. Блеск полуметаллический. Спайность отсутствует. Твердость 5,6–6. Удельный вес 4,9–5,2. Легко определяется по естественной магнитности, цвету, черте и высокому удельному весу. Образуется при магматических, метаморфических и чрезвычайно редко при осадочных процессах минералообразования. Является одной из лучших руд для получения железа.

Гематит — Fe_2O_3 (от греческого «гематикос» — кровавый). Цвет в тонкодисперсном состоянии ярко-красный, в кристаллическом — черный до стально-серого. Черта вишнево-красная. Блеск полуметалличе-

ский, изредка с синеватой побежалостью. Спайность отсутствует. Твердость 5,5–6. Удельный вес 5,0–5,3. Определяется по цвету черты, отсутствию магнитности, высокой твердости и удельному весу. Образуется при всех процессах минералообразования и в особенно значительных количествах на гидротермальной стадии, а также при региональном метаморфизме и осадочным путем в условиях сухого жаркого климата. Является одной из важнейших руд для получения железа. Используется также в качестве красителя.

Лимонит — $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ (от греческого «леймон» — луг, так как был обнаружен в луговых и болотных рудах). Цвет бурый и желто-бурый до охристого. Такая же черта. В кристаллах блеск металлический. Спайность совершенная. Твердость 1–4. Удельный вес 3,3–4. Большой частью представляют собой рыхлые землистые массы (ржавчина). Чаще всего образуется в верхней части земной коры в зоне окисления других железосодержащих минералов в условиях теплого влажного климата. Широко распространен в виде оолитовых скоплений или землистых масс («табачные» руды). Широко используется как руда для получения железа.

Пирролюзит — MnO_2 (от греческого «пирос» — огонь, «люзиос» — уничтожающий). Употребляется для уничтожения зеленого оттенка стекла при его выплавке. Цвет черный, иногда с синеватой побежалостью на гранях. Черта черная. Спайность совершенная. Излом землистый. Блеск полуметаллический. Твердость 5–6. Удельный вес 4,7–5,0. Определяется по цвету, цвету черты, землистому излому. Образуется при осадочном процессе минералообразования, чаще всего в прибрежных участках морей, обычно в виде конкреций. Применяется как руда для получения марганца, а также при изготовлении сухих батарей, поглотителей, в стекольном производстве, при производстве красителей, в кожевенном производстве, фотографии и других целей.

Корунд — Al_2O_3 (от староиндийского «корунд» — значение слова неизвестно). Цвет синеватый и желто-серый, красный, фиолетовый, зеленый. Блеск стеклянный. Спайность отсутствует. Твердость 9. Удельный вес 3,96–4,10. Отличается высокой твердостью, уступая только алмазу, часто также косой или параллельной штриховкой на гранях. Образуется большей частью в результате контактного и регионального метаморфизма, а изредка также при магматических процессах минералообра-

зования. Используется преимущественно как абразивный материал в виде порошков, кругов при обработке металлов. Прозрачные окрашенные разновидности используются как драгоценные камни в ювелирном деле: бесцветный (лейкосапфир), синий (сапфир), красный (рубин), желтый («восточный топаз»), фиолетовый («восточный аметист»), зеленый («восточный изумруд») и др.

1.5.4 Фосфаты. Эти минералы представляют собой соли фосфорной кислоты. В связи с этим в их составе всегда присутствует анион PO_4^{3-} . Минералы этого класса довольно разнообразны, но содержание их в земной коре незначительно. Фосфатные минералы имеют важное народно-хозяйственное значение, являясь главным источником получения фосфорных удобрений. Минералы этого класса образуются в разнообразных условиях, но значительные количества их приурочены к местам проявления магматических и осадочных процессов минералообразования.

Апатит — $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, Cl (от греческого «апатао» — обманываю). В природе преобладает фторапатит ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) и в меньших количествах встречается хлорапатит ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$), что, повидимому, обусловлено более высокой химической активностью фтора. Цвет зеленый (различной интенсивности), голубой, бурый, фиолетовый, прозрачный, черта белая. Блеск стеклянный, а на изломе жирный. Спайность несовершенная. Излом неровный, иногда раковистый. Твердость 5. Удельный вес 3,18–3,21. Для хорошо ограненных кристаллов характерен шестигранный призматический облик. При нагревании фосфоресцирует. Определяется по цвету, твердости и другим свойствам. Образуется при магматических процессах минералообразования. В незначительных количествах образуется при метаморфических и осадочных процессах минералообразования. Крупнейшие месторождения (Хибинские горы) связаны с сиенитовыми магматическими породами. Широко используется для производства фосфорных удобрений, а также в химической промышленности для получения чистого фосфора и фосфорной кислоты.

Фосфорит — $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$, F , Cl . Характеризуется теми же основными показателями и составом, что и апатит. Образуется исключительно при осадочных процессах минералообразования, преимущественно в прибрежных участках морей. Наблюдается обычно в виде конкреции, жел-

ваков, реже плотных масс и псевдоморфоз по органическим остаткам. Часто имеет черный цвет. Используется для тех же целей, что и апатит.

1.5.5 Галоиды. Минералы этого класса представляют собой соли кислот галоидных элементов (хлора, фтора, брома, йода). Наиболее распространенными в природе являются соединения легких металлов с хлором и фтором. Минералы этого класса характеризуются чрезвычайно высокой растворимостью, вследствие чего наибольшие скопления наблюдаются при выпадении этих соединений из пересыщенных растворов при осадочном процессе минералообразования. При магматических процессах галоиды образуются преимущественно на пневматолитовой и гидротермальной стадиях магматического процесса минералообразования. Минералы этого класса имеют огромное народнохозяйственное значение и широкое применение.

Галит — NaCl (от греческого «галос» — соль). Цвет обычно прозрачный, белый, но часто окрашен примесями в серый, желтый, бурый, черный и другие цвета. Черта белая. Блеск стеклянный, а иногда жирный. Спайность весьма совершенная. Твердость 2. Удельный вес 2,1–2,2. Легко распознается по весьма совершенной спайности по кубу, низкой твердости, солоному вкусу, гигроскопичности и легкой растворимости в воде. В хорошо ограненных кристаллах образует правильный куб. Встречаются огромные кристаллы с высотой ребра куба около 3,5 м (Артемовск). Образуется преимущественно при осадочном процессе минералообразования, вследствие выпадения в осадок из пересыщенных растворов в замкнутых усыхающих водоемах в условиях сухого жаркого климата. В природе встречается в виде мощных пластов каменной соли, которые при движении земной коры иногда приобретает разнообразные формы, вследствие того, этот минерал имеет способность к пластическим деформациям. В сравнительно небольших количествах галит образуется при магматическом минералообразовании, как продукт возгонки в областях действия вулканов. Применение галита самое разнообразное. Он является незаменимым продуктом, используется в консервной промышленности, в химической промышленности для получения соляной кислоты, хлора, соды, щелочей, в электронике, текстильной и металлургической промышленности.

Флюорит — CaF_2 . Цвет голубой, зеленый, желтый, фиолетовый, реже прозрачный. Черта обычно белая. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 4. Удельный вес 3,0–3,20. Определяется по цвету, форме кристаллов, твердости. Часто проявляется флюоресценция (термин произошел от названия этого минерала). Образуется при гидротермальной стадии магматического процесса минералообразования. В незначительных количествах образуется осадочным путем. Используется как флюс в металлургии, для получения плавиковой кислоты, в керамической промышленности для получения эмалей, в оптике и ювелирном производстве как поделочный камень.

Карналлит — $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (назван по имени прусского геолога Карналля). Цвет розовый, красный, реже прозрачный. Черта белая. Блеск стеклянный в свежем изломе, на воздухе становится жирным. Спайность отсутствует, излом неровный, реже раковистый. Твердость 2–3. Удельный вес 1,60. Определяется по цвету, горько-соленому вкусу, сильной гигроскопичности, при растворении потрескивает. По генезису осадочный, выпадает из растворов на последних стадиях формирования химических осадков. Используется как удобрение, в металлургии для получения сплавов (дюралюминий), для получения сигнальных огней, в фотографии.

1.5.6 Сульфаты. Минералы этого класса представляют собой соли серной кислоты, вследствие чего в их состав обязательно входит анион SO_4^{2-} . Большинство минералов этого класса образуются химическим осадочным путем и в меньшей мере как результат гидротермальной стадии магматического процесса минералообразования. Сульфаты характеризуются невысокой твердостью. Являются широко распространенным классом минералов, некоторые из них составляют мощные скопления в земной коре. Многие из минералов этого класса имеют важное значение для народного хозяйства и особенно для строительного производства.

Гипс — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (от греческого «гипос» – мел, гипс). Цвет белый, серый, желтый, бурый, красный. Часто встречаются кристаллы прозрачного гипса. Черта белая. Блеск стеклянный, иногда шелковистый с перламутровым отливом. Спайность весьма совершенная. Твердость 2. Удельный вес 2,3. Определяется по низкой твердости (чертится ногтем), весьма совершенной спайности в одном направлении, часто по столбча-

тым кристаллам и характерным двойникам прозрачных кристаллов. Образуется при осадочном процессе минералообразования вследствие выпадения в осадок из растворов, либо гидратации ангидрита, а также как продукт окисления сульфидов. Очень редко образуется на гидротермальной или пневматолитовой (вблизи действующих вулканов) стадиях магматического процесса. Широко используется в цементной промышленности в качестве добавки для алебаstra (полуобожженный гипс), в скульптурном производстве, при изготовлении красок, бумаги и т.д. Волокнистые разновидности с шелковистым блеском называются селенитом или лунным камнем и используются в ювелирном производстве как поделочный камень. Для этой цели используются так называемые гипсовые розы-сростки кристаллов гипса.

Ангидрит — CaSO_4 (от греческих «ан» — без, нет и «гидор» — вода). Цвет белый, часто с голубым, серым и красноватым оттенком. Встречаются также прозрачные кристаллы. Черта белая. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Спайность совершенная. Твердость 3–3,5. Удельный вес 2,8–3,0. Распознается по цвету, блеску, более высокой, чем у гипса твердости. Во влажной среде постепенно переходит в гипс, значительно увеличиваясь в объеме (до 1/3 первоначального). Образуется осадочным путем при выпадении из растворов в замкнутых водоемах. Изредка наблюдается образование минерала на гидротермальной стадии минералообразования. Используется для тех же целей, что и гипс — преимущественно для изготовления вяжущих веществ. Плотные разновидности тонкокристаллического строения используются для различных поделок.

Барит — BaSO_4 (от греческого «барос» — тяжелый). Цвет белый, серый, желтый, бурый, голубоватый, изредка прозрачный, в хорошо ограненных кристаллах. Черта белая, блеск стеклянный, на плоскостях часто перламутровый. Спайность совершенная в одном направлении. Твердость 3–3,5. Удельный вес 4,3–4,7. Определяется по высокому удельному весу, спайности, невысокой твердости. Образуется преимущественно при гидротермальных процессах минералообразования. В небольших количествах наблюдается как продукт химического осаждения в прибрежных участках морей, где он встречается в виде конкреций, желваков или отдельных кристаллов. Широко используется в народном

хозяйстве. Измельченный порошок применяется как утяжелитель буровых растворов, в резиновой, бумажной, лакокрасочной, керамической промышленности, для изготовления защитной штукатурки и для других целей.

1.5.7 Карбонаты. Эти минералы являются солями угольной кислоты, поэтому в их состав всегда входит анион CO_3^- . Минералы этого класса широко развиты в земной коре, составляя иногда огромные толщи. Наиболее распространенными являются карбонаты щелочных металлов и прежде всего карбонат кальция (кальцит). Большинство из этих минералов хорошо растворяются в воде. Образуются карбонаты преимущественно осадочным путем при выпадении из растворов, но часто возникают также на гидротермальной стадии магматического процесса минералообразования и при метаморфизме. Имеют широкое применение в народном хозяйстве и особенно в строительстве, металлургии и других отраслях

Кальцит — CaCO_3 (от латинского «калькс» — известь). Цвет белый с голубоватым оттенком, серый, желтый, розовый, бурый, черный. Встречается прозрачная разновидность, хорошо ограненные кристаллы которой называются исландским шпатом. Черта белая, блеск стеклянный, а на плоскости спайности иногда перламутровый. Спайность совершенная. Твердость 3. Удельный вес 2,6–2,8. Определяется по низкой твердости, окраске, характерной спайности в виде ромбов, бурной реакции с соляной кислотой. Образуется преимущественно при осадочном процессе минералообразования вследствие выпадения в осадок из растворов. Реже образуется магматическим путем (на гидротермальной стадии) и при процессах метаморфизма. Применение кальцита самое разнообразное. Используется для получения извести, цемента, резины, сахара, соды, как флюс в металлургии, полиграфии (литографский камень), в скульптурном производстве и для других целей. Плотные массы могут использоваться как обычный строительный материал. Прозрачные кристаллы (исландский шпат) используется в оптике. Некоторые разновидности используются как облицовочный материал, а также для ювелирных изделий и предметов искусства.

Магнезит — MgCO_3 (от греческого «магнезиа» — область в Фессалии). Цвет белый, иногда с зеленоватым или сероватым оттенком. Черта белая. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Излом гладкий, раковистый. Твердость 4–4,5. Удельный вес 2,9–3,1. В кристаллических агрегатах определяется по спайности (по ромбоэдру), в плотных массах по снежно-белому цвету, раковистому излому, высокой твердости. Образуется преимущественно гидротермальным путем при замещении магнезиальных магматических пород и карбонатов, а также как осадочный минерал при окислении магнезиальных силикатов. Применяется в металлургии для изготовления огнеупоров, выдерживающих температуру до 3000°C, как абразивный материал при изготовлении точильных кругов (так называемый цемент Сореля), для изготовления особо стойкой штукатурки и для других целей.

Доломит — $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (по имени французского минералога Доломье). Цвет серовато-белый, иногда с желтоватым, буроватым, красноватым или зеленоватым оттенком. Блеск стеклянный. Спайность совершенная, в виде ромбов. Плоскости спайности часто искривлены. Твердость 3,5–4. Удельный вес 1,8–2,9. Определяется по характерной спайности, цвету. Образуется, в основном, осадочным путем при выпадении из растворов, замещении доломитом кальцита. Возникает также при гидротермальных процессах минералообразования. Применяется как строительный, иногда облицовочный и поделочный камень, как флюс и огнеупор в металлургии, для изготовления вяжущих и термоизоляционных материалов, в химической и других отраслях промышленности.

Сидерит — FeCO_3 (от греческого «сидерос» — железо). Цвет желтовато-белый, сероватый, бурый, иногда с зеленоватым оттенком. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. В плотных мелкокристаллических массах излом раковистый. Твердость 3,5–4,5. Удельный вес 3,9. Распознается по совершенной спайности, иногда с искривленными плоскостями, часто по радиально-лучистому строению, значительному удельному весу. В природе часто встречается в виде конкреций, желваков и стяжений обычно в смеси с другими минералами. Образуется он на гидротермальной стадии минералообразования, при метаморфических процессах, а также осадочным путем в восстановительной среде. Используется преимущественно, как железная руда.

Малахит — $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ (от греческого «малахе» — мальва (растение)). Цвет ярко-зеленый, иногда темно-зеленый. Черта бледно-зеленая. Блеск стеклянный до алмазного, у волнистых разностей шелковистый. Спайность средняя. Излом раковистый. Твердость 3,5–5. Удельный вес 3,9–4,1. Легко узнается по характерному ярко-зеленому («малахитовому») цвету, натечным (почковидным) формам концентрически-зональному строению. Образуется исключительно осадочным путем в зоне окисления медных сульфидных месторождений. Используется для различных поделочных и мозаичных работ — изготовление ваз, шкатулок, столов, облицовки внутренних помещений (малахитовый зал Зимнего дворца в Санкт-Петербурге), в ювелирном производстве, для изготовления красок.

1.5.8 Силикаты. Этот класс минералов является самым распространенным из всех минералов земной коры. Они составляют примерно 75 % (по весу) всех минералов. В связи с этим силикаты являются главной составной частью всех горных пород. Они являются важнейшими естественными строительными материалами и сырьем для разнообразных строительных деталей. Поскольку они особенно широко развиты вблизи поверхности Земли, эти минералы являются наиболее распространенными основаниями различных сооружений. Из этого следует, что минералы этого класса имеют первостепенное значение для целей строительства.

Минералы этого класса являются наиболее сложными из всех минералов, как по химическому составу, так и своему строению. Детальными исследованиями последнего времени установлено, что с химической точки зрения силикаты не могут рассматриваться как типичные соли, а большинство из них занимают промежуточное положение между типичными солями и окислами. В связи с этим в современном представлении основой строения силикатов является анион SiO_4 , образующий тетраэдр (четырехгранник) почти строго постоянного размера (каждый ион Si окружен четырьмя ионами O). Связь между ионами Si и O гораздо сильнее, нежели с другими элементами, играющими роль катионов в кристаллических структурах силикатов. Кремнекислородные тетраэдры в кристаллических структурах силикатов находятся либо в виде изолированных друг от друга структурных единиц SiO_4 , либо могут сочленяться между собой различными способами, образуя сложные комплексные анионные радикалы.

При этом сочленение происходит только через вершины тетраэдров, но не через ребра или грани. В зависимости от характера соединения тетраэдров выделяются подклассы и типы силикатов. Характером соединения тетраэдров определяются важнейшие физические свойства отдельных групп минералов класса силикатов. При рассмотрении групп будет указываться только те минералы, которые приведены в описании.

В соответствии с характером соединения тетраэдров Si в наиболее простом виде выделяются следующие группы (подклассы и типы):

1.5.8.1 Силикаты с изолированными тетраэдрами SiO₄ (островные силикаты). Минералы этой группы характеризуются тем, что ни один из кислородных ионов, окружающих кремний, не являются общим для других смежных с ним кремнекислородных тетраэдров. В связи с этим кристаллические решетки минералов довольно компактные. Формы кристаллов обычно изометричные. Минералы обладают повышенными удельными весами. Большая часть минералов бесцветны или слабо окрашены (преимущественно красящими примесями — хромофорами).

Оливин — $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$ (назван по оливково-зеленому цвету). Цвет чаще всего бесцветный, иногда желтый с зеленоватым оттенком, вследствие наличия серпентина в трещинах. Блеск стеклянный, иногда жирный. Спайность средняя и несовершенная. Излом раковистый. Твердость 6,5–7. Удельный вес 3,0–3,5. Устанавливается по цвету, блеску, излому, значительной твердости. Образуется при магматических и реже метаморфических процессах минералообразования. Используется как сырье для изготовления огнеупоров, обычный строительный камень. Прозрачные и красиво окрашенные кристаллы (хризолиты) используются в ювелирном деле.

Топаз — $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F, OH})_2$ (от острова Топаз в Красном море). Цвет желтый, голубой, фиолетовый, зеленый, розовый, изредка бесцветный. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Излом не по спайности, раковистый. Твердость 8. Удельный вес 3,52–3,57. Легко определяется по призматической форме кристаллов, высокой твердости, спайности. Образуется из пневматолитов в гидротермальной стадии магматического процесса минералообразования. Используется как драгоценный ювелирный камень и абразивный материал.

Гранат — $(\text{Mg, Fe, Mn, Ca})_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ (от латинского «гранула» — зерно). Цвет самый разнообразный — красный, розовый, желтый, бурый, черный, зеленый с различными оттенками. Изредка встречается прозрачный гранат. Черта белая или светлоокрашенная с различными оттенками. Блеск жирный, стеклянный, иногда близкий к алмазному. Спайность несовершенная или полностью отсутствует. Излом неровный. Твердость 6,5–7,5. Удельный вес 3,0–4,2. Легко узнается по облику кристаллов (додекаэдр — двенадцатигранник с ромбической формой граней), блеску, высокой твердости, сравнительно большому удельному весу. Установлены разновидности гранатов, отличающиеся по окраске: пироп — темно-красный; альмандин — розовый; спессартин — желтый; гроссуляр — бледно-зеленый; андрадит — желтый, зеленоватый; перидотит — черный; уваровит — изумрудно-зеленый и т. д. Для отдельных разновидностей наблюдаются некоторые изменения окраски. Образуются минералы группы гранатов преимущественно при метаморфических процессах в результате взаимодействия магматических расплавов с карбонатными породами. Значительно реже гранаты образуются как первичные минералы при магматических процессах минералообразования. Применяются гранаты в ювелирном деле как полудрагоценные камни, а также в качестве абразивного материала.

1.5.8.2 Силикаты с изолированными группами тетраэдров SiO_4 . Этот подкласс включает в себя два типа — с изолированными группами и кольцевыми группами тетраэдров (кольцевые силикаты). В этом подклассе кремнекислородные тетраэдры имеют один общий ион кислорода. Многие из этих силикатов обладают уплощенными или таблитчатыми формами кристаллов.

Родонит — $(\text{Mg, Ca})\text{SiO}_3$ (от греческого «родон» — роза, русское название минерала «орлец»). Цвет розовый, иногда розовато-серый. Блеск стеклянный. Спайность совершенная и средняя. Твердость 5–5,5. Удельный вес 3,40–3,75. Легко узнается по характерному розовому цвету. В образцах, затронутых окислением, характерны черные прожилки гидроокислов марганца, иногда в виде дендритов. Образуется преимущественно при региональном метаморфизме осадочных марганцевых руд, реже на гидротермальной стадии магматического процесса металлообра-

зования. Используется как поделочный камень для изготовления ваз, письменных приборов, шкатулок, внутренней облицовки.

1.5.8.3 Силикаты с непрерывными цепочками тетраэдров SiO_4 (цепочковые и ленточные силикаты). Кремнекислородные тетраэдры в минералах этого подкласса вытянуты в одном направлении и связаны друг с другом. При этом наблюдаются одинарные цепочки и более сложные (ленты). Особенности строения минералов обуславливают следующие главнейшие физические свойства этих минералов: кристаллы обычно вытянуты в одном направлении; четко проявляется спайность вдоль длинной оси кристаллов; удельные веса несколько меньше, чем у островных и кольцевых силикатов.

Авгит — $\text{Ca}(\text{Mg, Fe, Al})[(\text{Si, Al})_2\text{O}_6]$ (от греческого «авге» — блеск). Цвет черный, зеленовато- и буровато-черный, темно-зеленый. Блеск стеклянный. Спайность средняя. Твердость 5–6. Удельный вес 3,2–3,6. Имеет много разновидностей, отличающихся наличием примесей титана, хрома и других элементов и особенностями окраски. Образуется преимущественно при магматическом процессе и изредка при контактовом метаморфизме. Используется как минерал, входящий в состав некоторых естественных строительных материалов.

Роговая обманка — $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg, Fe})_4[(\text{Si, Al})_4\text{O}_{11}]_2(\text{OH})_2$. Цвет зеленый, бурый до черного. Черта белая с зеленоватым оттенком. Блеск стеклянный. Спайность совершенная. Твердость 5,5–6. Удельный вес 3,1–3,3. Имеет ряд разновидностей, отличающихся химическим составом и цветом. Легко узнается по призматическому облику кристаллов, углу между плоскостями спайности (124°) и темно-зеленому или темно-бурому цветам. Образуется при магматическом процессе минералообразования, а также при метаморфизме основных магматических пород. Входит в состав горных пород — естественных строительных материалов.

1.5.8.4 Силикаты с непрерывными слоями тетраэдров SiO_4 (слоевые силикаты). Минералы этого подкласса характеризуются наличием двухмерных слоев, образованных тетраэдрами SiO_4 в виде гексагональных (шестигранных) и значительно реже тетрагональных (четырёхгранных) сеток. В связи с таким строением минералы характеризуются весьма совершенной спайностью в одном направлении и легко расщепляются

на тончайшие листочки. Большинство этим минералов характеризуется низкой твердостью.

Тальк — $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ (от старого арабского названия). Цвет зеленоватый, белый, иногда буроватый, в тонких листочках прозрачный. Черта белая. Блеск жирный, стеклянный, у плотных разновидностей матовый. Спайность весьма совершенная. Твердость 1. Удельный вес 2,7–2,8. Легко узнается по низкой твердости, вследствие чего он жирный на ощупь, весьма совершенной спайности, окраске. Образуется при метаморфических процессах вследствие действия гидротермальных растворов на ультраосновные породы с высоким содержанием магния, а также при температурном воздействии на некоторые осадочные (глинистые) породы. Широко используется при производстве резины, бумаги, текстиля, огнестойких красок, как изоляционный материал, а также в парфюмерной промышленности и для других целей.

Мусковит — $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ (от старинного итальянского «Муска» — Москва и «витрос» — стекло). Цвет сероватый, зеленоватый, в тонких листочках прозрачный. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Спайность весьма совершенная в одном направлении. Твердость 2–3. Удельный вес 2,76–3,10. Легко определяется по весьма совершенной спайности и образованию тончайших прозрачных упругих листочков. Образуется при магматических процессах минералообразования на пегматитовой стадии. На гидротермальной стадии и при процессах метаморфизма образуется главным образом скрытокристаллическая мелкочешуйчатая разновидность мусковита — серицит. Дальнейшее значение имеет листовая слюда как электроизолятор для конденсаторов, реостатов, телефонов и т.д. Слюдяной порошок (скрап) применяется при производстве огнестойких строительных материалов, бумаги, картона, красок, взрывчатых веществ и др.

Флогопит — $\text{K}(\text{Mg, Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{F, OH})_2$ (от греческого «флогопост» — огнеподобный). Цвет розовый, красновато-бурый, прозрачный, иногда с зеленоватым оттенком. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности иногда перламутровый с медным отливом. Спайность весьма совершенная в одном направлении. Твердость 2–3. Удельный вес 2,70–2,85. Диагностические признаки, условия образования и применение те же, что и у мусковита.

Биотит — $\text{K}(\text{Mg, Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH, F})_2$ (по имени французского физика Биота). Цвет черный, бурый, зеленоватый. Спайность весьма совершенная в одном направлении. Твердость 2–3. Удельный вес 3,02–3,12. Легко определяется по черному цвету, весьма совершенной спайности. Образуется на пегматитовой стадии магматического процесса, а также при региональном метаморфизме. Используется как добавка при изготовлении искусственных строительных материалов и крашений в виде блесков.

Глауконит — $\text{K}(\text{Fe, Al, Mg})_2\text{Si}_3(\text{Si, Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (от греческого «глаукос» — синевато-зеленый). Цвет темно-зеленый до зеленовато-черного. Блеск матовый, стеклянный или жирный. Спайность практически отсутствует. Твердость 2–3. Удельный вес 2,2–2,8. Распознается по цвету, низкой твердости. Образуется при осадочных процессах минералообразования в прибрежно-морских и болотных осадках. Используется как калийное удобрение, для изготовления защитных красок, как смягчитель жестких вод, в сахарной и текстильной промышленности.

Каолинит — $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ (от китайского «каулинг» — высокая гора). Цвет белый, желтоватый, зеленоватый, тонкие чешуйки прозрачные. Черта белая. Блеск отдельных чешуек перламутровый, в сплошных массах — матовый. Спайность весьма совершенная. Твердость 1. Удельный вес 2,58–2,60. в сплошных землистых массах легко растирается между пальцами, образуя белую мучнистую массу, в сухом виде сильно поглощает воду, в мокром состоянии образует необычно пластичное тесто. Образуется осадочным путем при химическом разрушении некоторых силикатных материалов. (преимущественно из подкласса каркасных). Используется для производства фарфора, фаянса, огнеупорного кирпича, при изготовлении линолеума, бумаги, красок, глинистых растворов для бурения и т.д.

1.5.8.5 Силикаты с непрерывными трехмерными каркасами из тетраэдров $(\text{Si, Al})\text{O}_4$ (каркасные силикаты, алюмосиликаты). Минералы этого подкласса характеризуются сочленением анионных тетраэдров $(\text{Si, Al})\text{O}_4$ в трех измерениях. Почти во всех минералах этого подкласса наряду с анионными комплексами, состоящими из тетраэдров SiO_4 , присутствуют анионные комплексы AlO_4 . В связи с этим для минералов этого подкласса характерны следующие важнейшие свойства: светлая окраска, значительная твердость (5–6), хорошая и даже совершенная спайность в нескольких направлениях. Среди наиболее распространенных минералов этого подклас-

са выделяются минералы группы полевых шпатов и группы нефелина. Полевые шпаты являются наиболее распространенными в земной коре минералами из класса силикатов, составляя в ней около 50 % по весу (шпатами в минералогической литературе называют любые минералы, обладающие совершенной спайностью в двух направлениях). Около 60 % шпатов заключено в магматических породах, около 30 % — в осадочных породах. Полевые шпаты по химическому составу представляют собой алюмосиликаты Na, K и Ca. Важнейшими среди полевых шпатов являются две подгруппы: подгруппа плагиоклазов (натрий-кальциевые полевые шпаты) и подгруппа ортоклаза (кали-натриевые полевые шпаты).

Плагиоклазы — $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (от греческого «плагиос» — косою и «класис» — раскалывание). Представляет собой изоморфный ряд альбита ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) — анортита ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). Промежуточные разновидности этого ряда представляют собой смесь альбита и анортита. Цвет белый, серовато-белый, иногда с зеленоватым, синеватым и розоватым оттенком. Блеск стеклянный. Спайность совершенная в двух направлениях (под углом около 86°). Твердость 6–6,5. Удельный вес 2,61 (альбит) – 2,76 (анортит). Узнается по цвету, твердости, косому углу спайности. Часто встречаются разновидности, характеризующиеся некоторыми оптическими эффектами: плагиоклаз (с преобладанием альбита), обладающий нежносиневатым отливом (лунный камень), обладающий искристо-золотистым отливом (солнечный камень или авантюрин); плагиоклаз (средний между альбитом и анортитом), характеризующийся на плоскостях спайности переливами в синих и зеленых тонах (лабрадорит). Образуются преимущественно при магматических процессах минералообразования (на начальных стадиях), а также в незначительных количествах при метаморфических процессах. Применяются как естественный каменный строительный материал, а красиво отливающие разновидности (особенно лабрадорит) как облицовочный материал, для изготовления памятников и для различных поделок (ваз, шкатулок).

Ортоклаз — KAlSi_3O_8 (от греческого «ортос» — прямой и «класис» — раскалывание). Цвет белый, розовый, буровато-желтый, мясо-красный. Блеск стеклянный, иногда с перламутровым отливом. Спайность совершенная в двух направлениях под прямым углом. Твердость 6–6,5. Удельный вес 2,55–2,58. Легко узнается по цвету, твердости, углу между спайностями. Сравнительно редко встречается прозрачная разно-

видность — адуляр. Ортоклаз образуется при магматических процессах минералообразования. Используется преимущественно в керамической промышленности для изготовления фарфора и фаянса, а также как огнеупорное сырье.

Микроклин — $\text{K AlSi}_3\text{O}_8$ (от греческого «микро» — малый и «клинос» — отклонение, угол). Обычно с примесью Na, иногда рубидия и цезия. Цвет розовый, буровато-желтый, мясо-красный, кирпично-красный, изредка зеленоватый. Блеск стеклянный, на плоскостях слегка перламутровый. Спайность совершенная в двух направлениях под прямым углом. Твердость 6–6,5. Удельный вес 2,54–2,57. Довольно сходен с ортоклазом, но в большинстве случаев отличается более интенсивной окраской. Как и среди плагиоклазов отличаются разновидности в виде лунного и солнечного камня. Кроме того, выделяется очень красивая разновидность зеленого цвета, обогащенная цезием и рубидием, называемая амазонитом. Образуется при магматических процессах минералообразования, главным образом на пегматитовой стадии. Используется преимущественно в стекольной и керамической промышленности, при изготовлении огнеупоров, как облицовочный и декоративный камень (особенно амазонит) для изготовления украшений и различных поделок (ваз, шкатулок и др.).

Среди силикатов с трехмерными каркасами тетраэдров SiO_4 выделяется группа нефелина, характеризующаяся пониженным содержанием кремнезема. В связи с этим минералы этой группы часто в щелочных породах являются заместителями полевых шпатов.

Нефелин — Na AlSiO_4 (от греческого «нефели» — облако). В составе нефелина всегда присутствует K, а содержание молекулы K AlSiO_4 иногда достигает 20 %. Цвет серовато-белый с желтоватым, красноватым и зеленоватым оттенками, изредка прозрачный. Блеск стеклянный, в изломе жирный, спайность практически отсутствует. Твердость 5–6. Удельный вес 2,6. Определяется по цвету, жирному блеску, хорошо ограненные кристаллы также по призматическому облику (гексагональная — шестигранная призма). Образуется при магматическом процессе минералообразования. Используется преимущественно в стекольном и керамическом производстве, а также как сырье для получения глинозема (Al_2O_3), для производства соды, красок и др.

Основные сведения о наиболее распространенных минералах приводятся в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Сведения о наиболее распространенных минералах

№ п/п	Название минерала и состав	Твердость	Удельный вес	Цвет	Блеск	Спайность	Излом	Особо характерные признаки	Генезис	Применение
Самородные элементы										
1	Графит С	1	2,09–2,23	черный, стально-серый	металлический, матовый	совершенная	ровный	жирный на ощупь	метаморфический, магматический	тигли, карандаши, электроды, смазка
2	Алмаз С	10	3,47–3,56	бесцветный, голубоватый, желтый, черный	алмазный	средняя	занозистый		магматический	абразивный материал, металлообработка, ювелирные изделия
3	Сера S	1,5	2,05–2,08	желтый, бурый	стеклянный, жирный	несовершенная	неровный, раковистый	при трении издает легкий запах	магматический (при вулканических извержениях), осадочный (при окислении сульфидов)	химическое сырье (для изготовления серной кислоты), производство спичек
Сульфиды										
4	Пирит FeS ₂	6–6,5	5	латунно-желтый	металлический, сильный	весьма совершенная	неровный	черный цвет черты; при ударе дает искры	магматический, осадочный	производство серной кислоты, железного купороса

Продолжение табл. 1.3 — Сведения о наиболее распространенных минералах

№ п/п	Название минерала и состав	Твердость	Удельный вес	Цвет	Блеск	Спайность	Излом	Особо характерные признаки	Генезис	Применение
5	Халькопирит CuFeS_2	3–4	4,1–4,3	латунно-желтый	металлический	несовершенная	неровный	пестрые цвета побежалости; черная с зеленоватым оттенком черта	магматический, гидротермальный, осадочный	важнейшая руда для получения меди
6	Галенит PbS	2–3	7,4–7,6	свинцово-серый	металлический до алмазного	весьма совершенная	плоский, полураковистый	высокий удельный вес	гидротермальный	важнейшая руда для получения свинца
Окислы										
7	Кварц SiO_2	7	2,5–2,8	прозрачный, черный, дымчатый, розовый, белый	стеклянный, в изломе жирный	весьма совершенная	раковистый	характер огранки	магматический, гидротермальный, осадочный	производство стекла, химической посуды, ювелирные изделия, радио и электроприборы
8	Магнетит Fe_3O_4	5,56,6	4,9–5,2	черный	металлический	отсутствует	раковистый, зернистый	естественная магнитность	магматический	лучшая руда для получения железа
9	Гематит Fe_2O_3	5,56,0	5,0–5,3	железно-черный, землистые агрегаты	полуметаллический	отсутствует	неровный	яркокрасная черта, иногда синеватая побежалость	магматический, осадочный	важная руда для получения железа, краситель

Продолжение табл. 1.3 — Сведения о наиболее распространенных минералах

№ п/п	Название минерала и состав	Твердость	Удельный вес	Цвет	Блеск	Спайность	Излом	Особо характерные признаки	Генезис	Применение
10	Лимонит $\text{FeO(OH)} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1–4	3,3–4,0	бурый до черного	металлический	совершенная	землистый	охристо-желтые землистые массы	осадочный, очень редко гидротермальн.	руда для получения железа, краситель
11	Пиrolюзит $\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	4–6	4,4–4,7	черный	полуметаллический, матовый	совершенная (у кристаллических разновидностей)	землистый	черные землистые массы	осадочный, редко гидротермальный	руда для получения марганца, металлургия
12	Корунд Al_2O_3	9	3,95–4,10	синеватый, серый	стеклянный	отсутствует	неровный	высокая твердость	магматический, метаморфический	абразивный материал, ювелирное производство
Фосфаты										
13	Апатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F, Cl}$	5	3,18–3,21	бесцветный, зеленоватый	стеклянный, на изломе жирный	несовершенная	неровный, иногда раковистый	кристаллы - шестигранные призмы, при нагревании фосфоресцируют	магматический, иногда гидротермальный	минеральные удобрения, химическая и керамическая промышленность
14	Фосфорит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F, Cl}$	5	3,18–3,21	часто черный	стеклянный	несовершенная	землистый	кокреции, псевдоморфозы по органическим остаткам	осадочный	минеральные удобрения

Продолжение табл. 1.3 — Сведения о наиболее распространенных минералах

№ п/п	Название минерала и состав	Твердость	Удельный вес	Цвет	Блеск	Спайность	Излом	Особо характерные признаки	Генезис	Применение
Галоиды										
15	Галит Na Cl	2	2,2	бесцветный	стеклянный, жирный	весьма совершенная	раковистый	соленый на вкус	осадочный, магнетический	пищевая, химическая, текстильная промышленность, металлургия
16	Флюорит Ca F ₂	4	3,0–3,2	зеленый, голубой, фиолетовый	стеклянный	совершенная	неровный, раковистый	тусклый, стеклянный блеск, при нагревании флюоресцирует	гидротермальный, изредка осадочный	металлургия, химическая промышленность, ювелирное производство
17	Карналлит MgCl ₂ ·K Cl·6H	2–3	1,6	розовый, бурый бесцветный	стеклянный, жирный	отсутствует	неровный, раковистый	горько-соленый, флюоресцирует, при растворении и сверлении потрескивает	осадочный	минеральные удобрения, металлургия
Сульфаты										
18	Гипс CaSO ₄ ·2H ₂ O	2	2,3	белый, прозрачный, розовый	стеклянный, перламутровый	весьма совершенная	ровный, занозистый	спайность и твердость	осадочный, изредка гидротермальный	производство вяжущих веществ (алебастра, цемента), скульптур, красок

Продолжение табл. 1.3 — Сведения о наиболее распространенных минералах

№ п/п	Название минерала и состав	Твердость	Удельный вес	Цвет	Блеск	Спайность	Излом	Особо характерные признаки	Генезис	Применение
19	Ангидрит CaSO_4	3–3,5	2,8–3,0	белый, серый, голубой	стеклянный	совершенная, средняя	неровный	твердость	осадочный, гидротермальный	производство вяжущих веществ, поделочный материал
20	Барит BaSO_4	3–3,5	4,3–4,7	белый, бурый, бесцветный	стеклянный, перламутровый	совершенная, средняя	неровный, гладкий	высокий удельный вес	гидротермальный, осадочный	утяжелитель растворов, химическая, резиновая, лакокрасочная промышленность, медицина
Карбонаты										
21	Кальцит CaCO_3	3	2,6–2,8	бесцветный, розовый	стеклянный, перламутровый	совершенная	ровный	твердость, спайность по ромбэдру, вскипает от соляной кислоты	осадочный, гидротермальный, магматический	изготовление вяжущих, металлургия, стройматериалы, химическая промышленность, оптика и др.

Продолжение табл. 1.3 — Сведения о наиболее распространенных минералах

№ п/п	Название минерала и состав	Твердость	Удельный вес	Цвет	Блеск	Спайность	Излом	Особо характерные признаки	Генезис	Применение
22	Магнезит $MgCO_3$	4–4,5	2,9–3,1	белый, серый	стеклянный	совершенная	раковистый	спайность по ромбоэдру, радиально-лучистые агрегаты, значительная твердость	гидротермальный, осадочный	огнеупоры, стройматериалы, абразивный материал, производство бумаги, резины и др.
23	Доломит $Ca, Mg(CO_3)_2$	3,5–4	1,8–2,9	серый, белый, желтый, розовый	стеклянный	совершенная	ровный	часто наблюдаются искривленные плоскости спайности	осадочный, гидротермальный	строительный (иногда облицовочный) материал, флюс в металлургии, изготовление вяжущих веществ
24	Сидерит $FeCO_3$	3,5–4,5	3,9	серый, бурый, желтый	стеклянный	совершенная	ровный	спайность, высокий удельный вес	гидротермальный, метаморфический, осадочный	железная руда, стройматериал

Продолжение табл. 1.3 — Сведения о наиболее распространенных минералах

№ п/п	Название минерала и состав	Твердость	Удельный вес	Цвет	Блеск	Спайность	Излом	Особо характерные признаки	Генезис	Применение
25	Малахит $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	3,5–4	3,9–4,1	зеленый	стеклянный, шелковистый	средняя	раковистый	ярко-зеленый, почковидные натечные агрегаты с концентрически-зональным строением	осадочный	поделочный материал, краситель
Силикаты										
26	Оливин $(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$	6,6–7	3,0–3,5	зеленовато-желтый	стеклянный, жирный	средняя	раковистый	форма кристаллов, цвет, блеск, излом	магматический, метаморфический	огнеупоры, ювелирные изделия
27	Топаз $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{F, OH})$	8	3,52–3,57	желтоватый, голубоватый, прозрачный	стеклянный	совершенная	раковистый (перпендикулярно спайности)	высокая твердость, спайность, излом	магматический	ювелирные изделия, абразивный материал
28	Гранат $(\text{Mg, Fe, Mn, Ca})_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$	6,5–7,5	3,5–4,2	красный, розовый, желтый, зеленый, черный	жирный, стеклянный, алмазный	несовершенная	неровный	форма кристаллов, блеск, цвет, высокая твердость	метаморфический, магматический	ювелирные изделия, абразивный материал

Продолжение табл. 1.3 — Сведения о наиболее распространенных минералах

№ п/п	Название минерала и состав	Твердость	Удельный вес	Цвет	Блеск	Спайность	Излом	Особо характерные признаки	Генезис	Применение
29	Родонит (Mn, Ca)SiO ₃	5–5,5	3,40–3,75	розовый	стеклянный	совершенная, средняя	раковистый	розовый цвет и наличие черных прожилков	гидротермальный, метаморфический	поделочный и облицовочный камень
30	Авгит Ca(Mg, Fe, Al) (Si, Al) ₂ O ₆	5–6	3,2–3,6	черный, темно-зеленый, бурый	стеклянный	средняя	раковистый	цвет, блеск и излом	магматический	стройматериалы
31	Роговая обманка Ca ₂ Na(MgFe) ₄ [(Si, Al) ₄ O ₁₁] ₂ (OH)	5,5–6	3,1–3,3	зеленый, бурый	стеклянный	совершенная	раковистый	темно-зеленая окраска, спайность (угол 124°)	магматический, метаморфический	строительный материал
32	Тальк Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH)	1	2,7–2,8	зеленоватый, белый, желтоватый	жирный, стеклянный, матовый	весьма совершенная	неровный	жирный на ощупь, весьма совершенная спайность	гидротермальный, метаморфический	пр-во бумаги, резины, текстиля, огнеупоров, красителей, керамики, парфюмерии
33	Мусковит KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH)	2–3	2,76–3,10	бесцветный, зеленоватый	стеклянный, перламутровый	весьма совершенная	неровный	прозрачный, весьма совершенная спайность	магматический, метаморфический	электроизолятор, кровельный материал

Продолжение табл. 1.3 — Сведения о наиболее распространенных минералах

№ п/п	Название минерала и состав	Твердость	Удельный вес	Цвет	Блеск	Спайность	Излом	Особо характерные признаки	Генезис	Применение
34	Флогопит $KMgAlSi_3O_{10}(F,Cl)$	2–3	2,7–2,85	красно-бурый, бесцветный	стеклянный, перламутровый	весьма совершенная	неровный	розоватая окраска, весьма совершенная спайность	магматический, метаморфический	электроизолятор, кровельный материал
35	Биотит $K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH,F)_2$	2–3	3,02–3,12	черный, бурый	стеклянный	весьма совершенная	неровный	черный цвет, весьма совершенная спайность часто с искривленными плоскостями	магматический, метаморфический	добавка при изготовлении искусственных строительных материалов, для украшения в виде блессток
36	Глауконит $K(Fe,Al,Mg)_2Si_3(Si,Al)_4O_{20}(OH)_2 \cdot nH_2O$	2–3	2,2–2,8	темно-зеленый	матовый, стеклянный, жирный	несовершенная	раковистый	зеленоватый цвет, скорлуповатые поверхности	осадочный	краситель, поглотитель, удобрение
37	Каолинит $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$	1	2,58–2,60	бесцветный, белый	матовый, перламутровый	весьма совершенная	неровный	мучнистый, жирный на ощупь	осадочный, гидротермальный	изготовление керамики, производство бумаги, красителей, гидроизолятор

Продолжение табл. 1.3 — Сведения о наиболее распространенных минералах

№ п/п	Название минерала и состав	Твердость	Удельный вес	Цвет	Блеск	Спайность	Излом	Особо характерные признаки	Генезис	Применение
38	Плагиоклаз $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	6–6,5	2,61–2,76	белый, сероватобелый, иногда с синеватым оттенком	стеклянный	совершенная	ступенчатый, ровный	спайность по косому углу, твердость, цвет	магматический, метаморфический	облицовочный и поделочный материал
39	Ортоклаз KAlSi_3O_8	6–6,5	2,55–2,58	белый, розовый, красный	стеклянный	совершенная	ровный, ступенчатый	спайность под прямым углом, твердость	магматический	стекольная, керамическая промышленность
40	Микроклин KAlSi_3O_8	6–6,5	2,54–2,57	розовый, красный, белый, зеленый	стеклянный, перламутровый	совершенная	ступенчатый	спайность, твердость, цвет	магматический	стекольная, керамическая промышленность, ювелирные изделия
41	Нефелин NaAlSiO_4	5–6	2,6	серый, желтоватый, бесцветный	стеклянный, в изломе жирный	отсутствует	раковистый, неровный	жирный блеск, жирный на ощупь	магматический	стекольная, керамическая промышленность

2. ПЕТРОГРАФИЯ (ВАЖНЕЙШИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ)

Название науки происходит от греческого слова «петрос» — скала и «графо» — пишу. Наравне с этим первоначальным названием, существует название «петрология» — наука о горных породах (в широком понимании этого слова), не только описывающая, но и рассматривающая условия образования, изменения и распространения горных пород.

Горными породами называются минералы или чаще комплексы минералов сравнительно постоянного состава, образующиеся в определенных физико-химических и термодинамических условиях, обладающие определенными свойствами и *занимающие значительные участки земной коры.*

2.1 Условия образования горных пород

Состав и свойства горных пород обусловлены главным образом их генезисом (условиями образования). Поскольку горные породы состоят из минералов, по генезису они разделяются на те же группы, что и минералы — магматические, осадочные и метаморфические. В некоторых случаях условия образования некоторых пород весьма своеобразны, вследствие чего такие породы выделяются в смешанные генетические группы. Такими, например, являются пирокластические (вулканогенноосадочные породы).

2.1.1 Магматические горные породы. Магматические (изверженные) горные породы образуются в результате остывания и кристаллизации магмы, представляющей собой огненно-жидкий силикатный расплав. Минеральный состав этих пород зависит от состава исходного расплава (магмы), а многие физические свойства пород — от места и конкретных условий их образования.

Формирование магматических пород представляет собой очень сложный процесс, приводящий к разнообразию этих пород. В связи с тем, что различные минералы образуются на разных стадиях процессов минералообразования, изменяется состав остающегося в жидком состоянии расплава. Происходит дифференциация магмы по удельному весу ее составных частей. Происходит также перемешивание магмы по разным причинам. Имеет место переплетение некоторых ранее образовавшихся частей горных пород и т.д. Все это способствует образова-

нию разнообразных по составу магматических пород не только в различных участках земной коры, но и в одних и тех же местах.

2.1.2 Осадочные горные породы. Осадочные горные породы возникают в верхней части земной коры (на поверхности Земли или вблизи нее) в результате разрушения и преобразования каких-либо ранее образовавшихся горных пород (магматических, осадочных, метаморфических) в условиях невысоких температур и обычного атмосферного давления. Состав и свойства осадочных пород зависят как от состава исходных пород, так и от конкретных условий формирования осадочных пород и особенностей их последующих преобразований.

Для осадочных пород отчетливо прослеживаются четыре стадии (этапа) их формирования: разрушение ранее существовавших пород; перенос (транспортировка) продуктов разрушения; седиментация (осаждение) продуктов разрушения; диагенез (вторичное рождение), приводящее к преобразованию осадка в горную породу. Значимость и продолжительность отдельных этапов в формировании осадочных пород бывает разной, но они всегда имеют место. В последующем под воздействием различных факторов могут происходить различные изменения в осадочных породах (явление постдиагенеза), которые изучаются при детальном исследовании горных пород.

2.1.3 Метаморфические горные породы. Метаморфические горные породы также являются вторичными и образуются в результате преобразования каких-либо исходных пород (магматических, осадочных, метаморфических) в глубоких горизонтах земной коры под влиянием высоких температур или давлений, а чаще всего при воздействии обоих факторов. Состав и свойства метаморфических пород зависят от состава исходных пород и от интенсивности преобразования их, т.е. степени метаморфизма.

В большинстве случаев могут быть выделены две стадии метаморфизации и соответствующие им две степени метаморфизма пород. При незначительном или непродолжительном воздействии температур и давлений происходит уплотнение и частичная перекристаллизация исходных пород и возникают метаморфизованные породы. При более интенсивном воздействии этих факторов происходит полная перекристаллизация пород, образуются новые минералы, характерные для этих условий и возникают собственно метаморфические горные породы.

2.2 Формы залегания горных пород

Горные породы залегают в земной коре в виде различных по форме геометрических тел. Знание формы этих тел имеет важное значение для оценки условий ведения строительных работ, а также методов и приемов разработки горных пород, как естественных строительных материалов.

В зависимости от условий образования горных пород возникают различные формы их залегания, т.е. внешние очертания участков земной коры, сложенных этими горными породами. Естественно, что формы залегания различных по генезису горных пород будут существенно отличаться. Для *магматических горных пород* характерны следующие формы залегания: батолиты, штоки, лакколлиты, лополиты, жилы, некки, лавовые потоки, лавовые покровы и некоторые другие.

Батолитами называются неправильные по форме массивы магматических пород, сформировавшиеся в глубоких горизонтах земной коры. Обычно батолиты имеют огромные размеры, уходя своим основанием в магматические очаги и достигая в горизонтальном сечении десятков и сотен тысяч квадратных метров.

Штоками называются повышенные участки батолитов, которые вследствие меньшей мощности покровов зачастую при разрушении их выходит на поверхность земли.

Лакколитами называют линзообразные формы с выпуклой верхней поверхностью, располагающиеся между пластами вышележащих пород.

Лополиты — тоже линзообразные формы залегания магматических пород среди пластов вышележащих пород, но обращенные вверх вогнутой стороной.

Жилами называют образования магматических пород, заполняющие трещины в других горных породах и имеющие незначительную мощность в поперечном направлении, не протягивающиеся на значительных расстояниях. Обычно жилы располагаются вертикально или под крутыми углами и очень редко в направлениях, близких к горизонтальным (плитовые жилы).

Некк (жерловина) — вертикальная или близкая к ней форма залегания магматических пород, образующаяся при формировании вулканов и представляющая собой канал, по которому расплавы поступают к вулкану.

Лавовыми потоками называются формы залегания магматических пород обычно небольшой мощности и ширины при значительной про-

тяженности, несущие явные следы течения. Они образуются при излиянии расплавов на склонах (магма, излившаяся на поверхность, называется лавой).

Лавовыми покровами называются формы залегания магматических пород, имеющие незначительные мощности и занимающие большие площади. Они образуются при излиянии расплавов по трещинам в земной коре при сравнительно спокойном рельефе поверхности земли.

Для *осадочных пород* характерны совершенно другие формы залегания, что обусловлено особенностями их образования. Для этих пород отмечается незначительное количество форм залегания. Наиболее характерными являются пласт, пластообразная залежь, пропласток, свита, линза и некоторые другие.

Пластом называется такая форма залегания осадочных пород, у которой при незначительной мощности наблюдается во много раз большая протяженность. Пласты ограничены более или менее параллельными и ровными поверхностями. Верхняя поверхность называется кровлей пласта, а нижняя — подошвой или почвой. Если пласты залегают не горизонтально, а наклонно, то верхняя поверхность называется висячим боком, а нижняя — лежачим. Расстояние между кровлей и почвой в перпендикулярном к ним направлении называется мощностью пласта.

Пропластками (прослойками) называются пласты очень малой мощности (для Донбасса мощностью менее 0,45 м).

Пластообразные залежи характеризуются изменяющимися мощностями и не совсем параллельными поверхностями.

Свитой называется несколько пластов, залегающих параллельно и образующихся в сходных условиях.

Линзами и линзообразными залежами называются такие формы залегания осадочных пород, которые характеризуются заметной изменяющейся мощностью и полностью выклинивающимися на незначительном расстоянии.

Метаморфические горные породы сохраняют формы залегания исходных пород, из которых они образовались. Поэтому отдельные их формы залегания не рассматриваются.

Изучение форм залегания горных пород (рис. 2.1) имеет важное значение для оценки условий ведения строительных работ на них, а также особенно важно при оценке условий разработки пород как естественных строительных материалов.

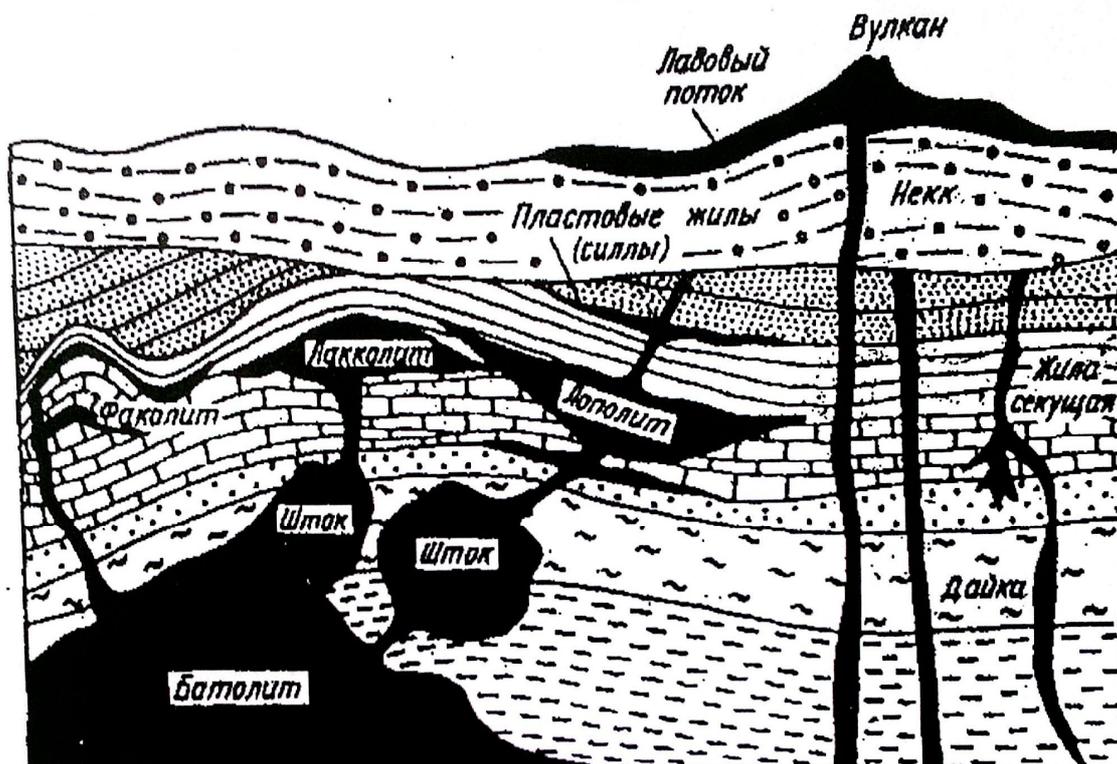


Рисунок 2.1 — Формы залегания магматических пород

2.3 Структура и текстура горных пород

Важнейшие физические свойства горных пород во многом обусловлены их внутренним строением. Особенности внутреннего строения определяются некоторыми характеристиками, которые называются структурами и текстурами горных пород.

Структурой называют такие признаки строения горной породы, которые определяются размером, формой и генезисом частиц, входящих в состав горной породы.

Текстурой называются такие признаки строения горных пород, которые обусловлены взаимным расположением частиц, составляющих породу.

Из этого следует, что структуры и текстуры горных пород во многом будут зависеть от их генезиса. Чем медленнее происходит формирование горной породы, тем обычно крупнее образуются структурные элементы, составляющие породы. Кроме того, на размер частиц оказывает влияние давление, химический состав среды, наличие примесей и включений, являющихся катализатором при кристаллизации вещества и ряд других факторов.

Среди структур наиболее распространенными являются кристаллические, порфириновые, стекловатые, органогенные с различными их разновидностями. Для обломочных осадочных пород выделяются структуры, соответствующие названиям групп по размерности: псефитовые, псаммитовые, алевроитовые и пелитовые.

Кристаллическими называются структуры, у которых зерна (кристаллы) отдельных минералов четко ограничены. По размерам выделяются крупнозернистые (более 5 мм), среднезернистые (от 5 мм до 2 мм), мелкозернистые (от 2 мм до еле заметных невооруженным глазом) и микрозернистые (скрытокристаллические), у которых отдельные зерна заметны только под микроскопом. Среди этих структур выделяются такие разновидности по соотношению размеров и форм зерен — идиоморфные (равноразмерные), ксеноморфные (разноразмерные), офитовые (с удлиненными зернами) и другие.

В большинстве случаев крупнозернистые структуры образуются на значительных глубинах, а мелкозернистые — на меньших глубинах.

Кристаллические зернистые структуры характерны для магматических пород, но сохраняются и у метаморфических. Часто такие структуры наблюдаются у химических осадочных пород. В этом случае размеры зерен определяются временем кристаллизации, а также наличием в растворах катализаторов, способствующих формированию крупных зерен и спецификой минералов, определяющей условия их кристаллизации.

Порфирированными называются такие структуры, у которых отдельные крупные зерна — вкрапленники — располагаются среди общей мелкозернистой или микрозернистой массы.

Витрофирированные — структуры, у которых вкрапленники погружены в стекловатую массу.

Порфирировая и витрофирировая структуры чаще всего наблюдаются у эффузивных пород и формируются в тех случаях, когда кристаллизация начинается на значительной глубине (возникают вкрапленники), а заканчивается при быстром остывании у поверхности земли.

Стекловатая структура — это такая, у которой отдельные зерна не заметны даже под микроскопом и порода представляется как некристаллическая (аморфная) масса. Чаще всего эта структура наблюдается у эффузивных пород.

Органогенные структуры — это такие, у которых отчетливо наблюдаются сохранившиеся структуры остатков организмов, из которых состоит горная порода. Эти структуры характерны для органогенных осадочных пород.

Для обломочных осадочных пород выделяется 4 вида структур, соответствующих размерам частиц.

Псефитовая (более 1 мм), *псаммитовая* (от 1 до 0,01 мм), *алевритовая* (от 0,01 до 0,001 мм), что можно сопоставить с зернистыми (кристаллическими) структурами различной размерности.

Среди текстур могут быть выделены две группы: однородные и неоднородные с различными разновидностями.

Однородная (равномерная) группа текстур — это такая, у которой вся масса породы представляется однородной, а во взаимном расположении частиц отсутствует какая-либо закономерность. Наиболее распространенной среди этой группы является массивная структура.

Массивной (неориентированной, беспорядочной) текстурой называется такая текстура, в которой не заметно какое-либо упорядоченное расположение частиц, а порода характеризуется плотным (массивным) сложением.

Кроме того, среди однородных текстур выделяется по характеру сложения пород — пористые, зубчатые, шлаковидные и другие, сущность которых ясна из самих названий.

Неоднородные текстуры это такие, которые характеризуются определенным порядком расположения составных частей породы. Они отличаются значительным разнообразием. Неоднородные текстуры обусловлены значительным разнообразием. Неоднородные текстуры обусловлены различными причинами: определенным расположением частиц определенной размерности, цветом составляющих компонентов, формой частиц, минеральным составом и другими факторами. Наиболее распространенными среди неоднородных текстур являются слоистые, полосчатые, сланцеватые, линзовидные, почковидные, бобовые, пятнистые, брекчиевые, конгломератовые и другие.

Слоистые текстуры — это такие, в которых наблюдается отдельные слои, отличающиеся составом либо размерами частиц.

Полосчатые текстуры обычно характеризуются наличием полос, отличающихся окраской отдельных частей породы.

Сланцеватые текстуры характеризуются легким отделением частей горной породы по наслоению. Обычно это обусловлено наличием на плоскостях тонких слойков, отличающихся по минеральному составу от окружающих частей породы (слюды и другие минералы).

Линзовидные текстуры характеризуются наличием включений, имеющих форму линз и обычно отличающихся минеральным составом и окраской.

Почковидные текстуры имеют вид округлых со сглаженными поверхностями, напоминающими почки.

Бобовые текстуры отличаются наличием включений округлой формы и небольших размеров в виде бобовин. Обычно это включения, отличающиеся и по минеральному составу.

Пятнистые текстуры отличаются наличием пятен разнообразной формы, обусловленных чаще всего окраской, а иногда и другим минеральным составом.

Брекчиевые текстуры характеризуются угловатыми включениями значительных размеров.

Конгломератовые текстуры характеризуются наличием включений значительных размеров со сглаженными поверхностями.

Брекчиевые и конгломератовые текстуры чаще всего наблюдаются в обломочных осадочных породах, но встречаются также и среди магматических, метаморфических и смешанных по происхождению пород.

Иногда текстуры выделяются также и по форме минеральных агрегатов (друзовые, жеодовые, сталактитовые и др.) или по форме элементов, составляющих текстуру (с удлиненными, изоцентричными, неправильными формами) и по другим признакам.

Главным признаком, определяющим физические свойства пород в массивах является сложение пород.

Весьма редко породы являются монолитными, сплошными. Большой же частью, вследствие процессов разрушения, в породах обнаруживаются трещины, разделяющие породу на отдельные глыбы различной формы, которые называются отдельностями. Они возникают либо в процессе формирования породы (эндокинетические), либо под воздействием сил после формирования пород (экзокинетические).

В зависимости от формы выделяются плитообразные (с горизонтальными трещинами) матрацевидные (с горизонтальными и вертикаль-

ными трещинами и сглаженными краями), параллелепипедальные (многогранные), столбчатые (отдельности расположены вертикально), шаровые, эллипсоидные и другие. Шаровые, столбчатые, матрацевидные отдельности чаще всего наблюдаются в магматических породах. Плитчатые, параллелепипедальные, кубические, многогранные отдельности широко распространены в осадочных и метаморфических породах.

Наличие тех или иных отдельностей имеет важное значение для оценки условий разработки и обработки пород при использовании их как естественных строительных материалов.

2.4 Принципы классификации горных пород

Классификация горных пород, как и минералов, необходима для всесторонней оценки пород, определения условий их использования в строительстве, изучения горных пород как источников различных полезных ископаемых и для других целей. Естественно, что важнейшей с точки зрения оценки значения горных пород является генетическая классификация. В связи с этим классификация рассматривается в настоящем курсе по генетическому принципу.

Магматические горные породы. Эти горные породы подразделяются по двум признакам — по месту образования и по среднему химическому составу.

По месту образования выделяют две группы: интрузивные (глубинные) и эффузивные (излившиеся). Иногда выделяют и третью группу — жильные, но с точки зрения инженерной геологии рассматривать эту группу отдельно не имеет смысла, так как физические свойства жильных пород аналогичны интрузивным.

Интрузивные (глубинные) горные породы — это такие магматические горные породы, которые образовались в глубоких горизонтах земной коры. Этим фактором обусловлены важнейшие структуры и текстурные признаки пород и их физические свойства. В связи с тем, что понижение температуры растворов происходило медленно (масса расплава перекрыта земной корой) создавались условия для медленной кристаллизации. Вследствие этого интрузивные породы характеризуются ясно выраженными кристаллическими структурами. В зависимости от конкретной глубины формирования магматических пород и стадии процессов минералообразования наблюдаются структуры от крупно-

кристаллических до микрозернистых. Этими же факторами обусловлен возникновение текстур от однородных до пятнистых и других.

Эффузивные (излившиеся) горные породы — это такие, которые образовались на поверхности Земли при излиянии лавы, при резком перепаде температур и быстром остывании. В связи с этим породы характеризуются преимущественно микрозернистыми, скрытокристаллическими, порфировыми и стекловатыми структурами. Особенности условий образования обусловлены и текстуры, среди которых наблюдаются как однородные, так и пятнистые, слоистые текстуры течений, пористые и другие.

Эффузивные породы, образовавшиеся на поверхности Земли, значительно резче, чем интрузивные, подвергаются процессам разрушения, что приводит к заметному изменению их физических свойств. В связи с этим эффузивные породы подразделяются также по времени образования на палеотипные (от палео — древний) и кайнотипные (кайнос — новый), т.е. породы, сформировавшиеся в давние геологические отрезки времени и на последних этапах геологической истории развития Земли

Средний химический (а, следовательно, и минеральный) состав магматических пород обусловлен составом расплава (магмы), из которого эти породы образовались (в последующем при разрушении этих пород со временем их химический состав может меняться).

В основе разделения магматических пород по химическому составу находится процентное содержание кремнекиси (SiO_2) — важнейшего химического компонента, входящего в состав главных породообразующих минералов магматических горных пород. По этому признаку выделяются пять классов пород: ультракислые — содержание SiO_2 более 75 %; кислые — содержание SiO_2 от 75 % до 65 %; среднее — содержание SiO_2 от 65 % до 52 %; основные — содержание SiO_2 от 52 % до 40 % и ультраосновные — содержание SiO_2 менее 40 %. Естественно, что состав главнейших породообразующих минералов, входящих в магматические породы, будет определяться процентным содержанием кремнекислоты.

Таблица 2.1

Классификация магматических пород

Класс по содержанию SiO_2	Группа (по месту образования)		
	Интрузивные (глубинные)	Эффузивные (излившиеся)	
		подгруппы (по времени образования)	
		кайнотипные	палеотипные
Ультракислые ($\text{SiO}_2 > 75\%$)	Аляскит		
Кислые ($\text{SiO}_2 > 75 - 65\%$)	Гранит Пегматит	Липарит	Порфир (кварцевый)
Средние ($\text{SiO}_2 > 65 - 52\%$)	Диорит Сиенит	Андезит Трахит	Порфирит Ортофир
Основные ($\text{SiO}_2 > 52 - 40\%$)	Габбро Лабрадорит	Базальт	Диабаз
Ультраосновные ($\text{SiO}_2 < 40\%$)	Пироксенит Перидотит Дунит	Кимберлит	
Содержание различное	Пирокластические (вулканогенно-осадочные) — породы смешанного происхождения		

Кроме того, выделяются также *пирокластические* (от греческих «пирос» — огонь и «класос» — обломок), или вулканогенно-осадочные породы, которые формируются из продуктов излияния лавы (эффузивов), составляющих большую часть и обломков ранее сформировавшихся пород.

ровавшихся пород различного генезиса. Химический (и минеральный) состав этих пород, естественно, самый разнообразный.

Осадочные горные породы. Эти горные породы подразделяются на три класса в зависимости от главного фактора, который способствовал их образованию. По этому признаку выделяются обломочные, химические и органогенные (биогенные). В некоторых классификациях последние два класса объединяют в один — биохимический.

Ввиду коренного различия условий образования горных пород этих классов дальнейшее более дробное деление и характеристика их рассматривается для каждого класса отдельно.

Обломочные осадочные горные породы — это такие породы, которые образовались из ранее существовавших пород в результате воздействия физических (механических) процессов. При этом минеральный состав исходных пород сохраняется в первоначальном виде, но количественное соотношение отдельных минералов может заметно изменяться, вследствие перемешивания или разделения их в процессе образования осадочных пород.

В связи с этим химический и минеральный состав различных разновидностей обломочных пород не оказывает существенного значения на их оценку.

Для обломочных горных пород важнейшим признаком при их классификации являются структурные признаки (размер частиц), форма обломков, сложение горных пород (наличие или отсутствие цементации). Для оценки физических свойств сцементированных разновидностей пород существенное значение имеет также состав и структура цемента. В связи с этим выделяются четыре группы обломочных осадочных пород по размерам обломков: псефиты — обломки свыше 1 мм; псаммиты — обломки от 1 до 0,01 мм; алевроиты — обломки от 0,1–0,001 мм; пелиты — обломки менее 0,001 мм. Иногда применяются и другие границы размеров частиц: для псефитов — более 2 мм; для псаммитов — от 2 до 0,05 мм; алевроитов — от 0,05 до 0,005 мм, а для пелитов — менее 0,005 мм.

Для всех групп ведется подразделение на сцементированные и несцементированные (рыхлые) разновидности. В группе псефитов кроме того в каждой разновидности, независимо от наличия или отсутствия цементации породы, подразделяются по форме обломков — с окатанными и неокатанными (угловыми) обломками (см. табл. 2.2).

Таблица 2.2

Классификация осадочных пород

Классы	Обломочные				Химические	Органические	
	Рыхлые		Сцементированные				
Размеры обломков (в мм)	окатанные	неокатанные	окатанные	неокатанные			
<u>Псефиты</u>							
Более 200	валуны	глыбы, камни	конгломераты	брекчии	Мергель, известняк, известковый туф, гейзерит, сидерит	<u>Карбонатные</u> Мел, известняк органногенный <u>Кремнистые</u> Диатомиты, спонголиты, радиоляриты <u>Каустобиолиты</u> Бурые угли, каменные угли, антрациты, асфальт, озокериты, нефть, природные газы, янтари	
200–10	гальки	щебень	конгломераты	брекчии	<u>Кремнистые</u> Трепел, кремневый туф, кремень, опока, силицит <u>Сульфатные</u> Гипс, ангидрит		
10–1	гравий	дресва	гравелиты	брекчии	<u>Галоидные</u> Каменная соль, карналлиты, сильвиниты <u>Железные и марганцевые</u> Бурые железняки, железные руды, марганцевые руды		
<u>Псаммиты</u>							
1–0,01	пески		песчаники		<u>Фосфатные</u> Фосфорит <u>Аллиты</u> Латериты, бокситы <u>Каолиниты</u> Каолины <u>Глауконитовые</u> Глаукониты		
<u>Алевриты</u>							
0,01–0,001	алевриты (суглинки, супеси, лесс)		алевриты				
<u>Политы</u>							
менее 0,001	глины		аргиллиты				

Химические осадочные горные породы образовались в результате химических процессов, большей частью в водной среде при выпадении минералов в осадок из пересыщенных растворов или вследствие процессов взаимного обмена в растворах и образования химических соединений (минералов), слабо растворимых в воде и выпадающих в осадок.

Химические осадочные породы различаются между собой главным образом по химическому (и минеральному) составу. В связи с этим в классе химических осадочных пород выделяются следующие группы: карбонатные, кремнистые, сульфатные, галоидные, железистые и марганцевые, фосфатные, галлиты, каолиниты, глаукониты.

Органогенные осадочные горные породы образуются в результате процессов жизнедеятельности организмов и накопления органических остатков.

Органогенные осадочные горные породы различаются по химическому (и минеральному) составу и видам организмов, остатки которых являются главными составными частями этих пород. По этим признакам класс органогенных пород разделяется на группы: карбонатные, кремнистые и каустобиолиты («каустос» — горючий, «биос» — живой, «литос» — камень). В каждой из групп выделяются определенные породы, характеризующиеся различными органическими остатками, составляющими породу.

Метаморфические горные породы — это такие породы, которые образуются из каких-либо ранее существовавших пород (магматических, осадочных или метаморфических) в результате вторичного воздействия на них высоких температур или давлений, а чаще всего обоих факторов совместно. В связи с этим метаморфические породы классифицируются по двум важнейшим признакам: 1) типу метаморфизма, определяющему интенсивность воздействия определенного фактора (температура или давление) и 2) составу исходных пород. При этом следует иметь в виду, что в зависимости от конкретных условий из различных исходных пород могут возникнуть одни и те же метаморфические породы, а в других случаях — из одних и тех же исходных пород — различные метаморфические породы. Это явление связано с интенсивностью проявления различных факторов метаморфизма, временем их действия и другими моментами. По характеру проявления процессов изменения ранее существовавших пород выделяют динамометаморфизм, контактовый и региональный метаморфизм. В каждом из этих ви-

дом метаморфизма иногда выделяют разновидности, либо они рассматриваются как самостоятельные виды.

Динамометаморфизм — это такой вид метаморфизма, при котором на горные породы воздействует только давление, развивающееся под влиянием веса вышележащих пород, либо под воздействием процессов, происходящих внутри земной коры (давление магмы, смятие горных пород). Процессы динамометаморфизма проявляются обычно в верхних горизонтах земной коры. При этом происходит дробление горных пород и минералов без существенного изменения их состава.

Контактный метаморфизм — такой вид метаморфизма, при котором на горные породы оказывает воздействие высокая температура, а также значительные давления в зонах контактов магматических расплавов с горными породами земной коры. При этом воздействие температур и давлений проявляется как в местах непосредственного соприкосновения магмы с окружающими породами (термальный метаморфизм), так и на значительных расстояниях, куда по трещинам проникают горячие газы (пневматолитовый метаморфизм), перегретый пар и горячие воды (гидротермальный метаморфизм). В участках проявления пневматолитового и гидротермального метаморфизма давления незначительные и существенного влияния на изменения пород не оказывают. Здесь интенсивно развиваются явления метасоматоза.

Региональный (глубинный) метаморфизм — это такой вид метаморфизма, который охватывает огромные области (регионы) и проявляется в глубоких горизонтах земной коры. При этом высокие температуры и давления, способствующие преобразованию пород, иногда распространяются на значительные расстояния от интрузивных очагов (плутонов). В связи с этим иногда выделяются разновидности — динамотермальный метаморфизм и плутонометаморфизм. При региональном метаморфизме зачастую происходит перемешивание и переплавление обломков пород и магматических расплавов, а после их остывания и кристаллизации формируются совершенно новые по составу и свойствам горные породы. Естественно, что с увеличением глубины повышаются давления и температуры и усиливается интенсивность процессов преобразования пород. В связи с этим иногда выделяются зоны регионального метаморфизма — верхняя (эпизона), средняя (мезозона), нижняя (катазона) и самая глубокая — зона ультраметаморфизма.

В таблице 2.3 приведена общая классификация метаморфических пород.

Таблица 2.3

Классификация метаморфических пород

Тип метаморфизма	Метаморфические породы		Исходные породы
Региональный	Орто-гнейсы		кислые магматические породы
	Пара-гнейсы		песчано-глинистые осадочные породы
	Эклогиты		основные магматические породы
	Амфиболиты		основные магматические породы
	Кристаллические сланцы	хлористые слюдяные тальковые	основные эффузивные породы
	Кварциты		граниты, песчаники
	Мраморы		карбонатные осадочные породы
	Наждаки		бокситы
Контактовый	Серпентиниты		дуниты, перидотиты
	Скарны		карбонатные породы
	Грейзены		граниты
	Кварциты		кислые магматические и песчаные осадочные породы
	Роговики		песчано-глинистые осадочные породы
	Мраморы		карбонатные породы
	Углистые сланцы		песчано-глинистые осадочные породы
Динамометаморфизм	Катаклазиты		различные по составу кристаллические породы

2.5 Описание горных пород

В этом курсе приводится описание только наиболее распространенных пород, широко используемых как основания сооружений и как естественные строительные материалы.

В связи с тем, что описание осуществляется для инженерно-геологических целей, оно основано главным образом на тех признаках, которые оцениваются визуально. При этом наряду с минеральным составом пород отмечаются те физические свойства пород, которые помогают их определению и позволяют оценить их в качестве естественных строительных материалов.

Перечень генезисов пород во многом определяет их важнейшие физические свойства, описание пород осуществляется по тем генетическим группам, которые были выделены при рассмотрении условий образования горных пород

2.5.1 Магматические горные породы. Эти породы характеризуются значительной прочностью, что обусловлено их кристаллическим строением. В связи с этим магматические породы находят самое широкое применение в строительном деле. Они используются как бутовый и дорожно-строительный камень, в качестве заполнителя для бетона, основания монументов, деталей некоторых строений (колон, пилястров), в скульптурном производстве, как сырье для каменного литья, как абразивный материал и для других целей.

Следует иметь в виду, что кроме главных видов магматических пород, приведенных в таблице их классификации, существует много переходных разновидностей. Так, существуют переходные разности по химическому (и минеральному) составу от кислых к средним, от средних к основным и т.д. В этих случаях породы имеют двойное название, (например гранодиориты и т.п.). Такие же переходные разновидности выделяются также по месту образования — между интрузивными и эффузивными (например, габбро-диабазы и др.).

Ниже приводится описание важнейших магматических пород.

Гранит (от латинского «гранум» — зерно). Цвет разнообразный — светло- и темно-серый, розовый, красный, изредка зеленоватый. Окраска зависит от цвета полевых шпатов, входящих в состав этой породы. При наличии ортоклаза обычно наблюдается серая окраска, микроклин придает розовый и красный цвет, а амазонит — зеленоватый. Среди минералов, входящих в состав гранитов, преобладают полевые шпаты (40–

60%), кварц (20–40 %), обычно наблюдаются слюды (биотит и мусковит, роговая обманка, составляющие 5–10 %), некоторые акцессорные минералы (циркон, апатит, гранаты и другие минералы). Структура гранатов кристаллическая, различной размерности. Иногда встречаются граниты с очень крупными кристаллами полевых шпатов, часто более или менее изометричной формы (например, финский гранит «рапакиви»). Кварц большей частью представлен зернами неправильной формы, реже в виде хорошо ограненных кристаллов, иногда, вследствие процессов замещения одних минералов другими, наблюдается порфировидные структуры. Текстура гранитов большей частью неориентированная, массивная. Реже наблюдается пятнистая. Изредка в гранитах, подвергшихся последующим давлением, наблюдается сланцевая или неяснослоистая текстура. Часто наблюдаются параллелепипедная, плитообразная или матрацевидная отдельности. Граниты являются одной из самых прочных и стойких разновидностей пород. Временное сопротивление раздавливанию колеблется от 1200 до 2000 кг/см². В исключительных случаях оно достигает 2600 кг/см². Эта порода довольно стойкая по отношению к химическому разрушению, хотя полевые шпаты, составляющие основу гранитов, при некоторых обстоятельствах разрушаются сравнительно легко. Известны примеры, когда массы гранитов, подвергающиеся химическому воздействию атмосферы в присутствии воды полностью разрушаются на многие десятки метров от поверхности и полевые шпаты преобразуются в слоистые силикаты — гидрослюды и каолинит. Сравнительно легко гранит (особенно крупнокристаллический) подвергается разрушению при колебании температур. Очень характерным с этой точки зрения является «шелушение» облицовки набережной Невы в Санкт-Петербурге.

В природе граниты залегают чаще всего в виде батолитов, крупных штоков, лакколитов, реже даек и жил. Встречаются различные разновидности гранитов в зависимости от наличия второстепенных минералов (биотита, мусковита, роговой обманки, авгита и др.). Граниты имеют важное значение не только при непосредственном их использовании, но также в связи с тем, что в этих породах содержатся иногда крупные скопления руд железа, цветных, драгоценных металлов (особенно золота) и редких металлов. Гранит очень широко используется в строительстве. Пожалуй, ни одна горная порода не имеет такого широкого диапазона применения в строительстве, как гранит. Он используется в необ-

работанном виде как бутовый камень, заполнитель в бетоне (для наземных и подводных сооружений). В обработанном виде он применяется для облицовки цоколей, для изготовления тротуарных плит, камней мостовых, лестничных ступеней, при сооружении памятников, колонн (например, Александрийская колонна на Дворцовой площади в Санкт-Петербурге, колонны Исаакиевского собора и др.). Многие станции метрополитенов облицованы гранитом. Кроме того, гранит используется для изготовления декора.

Липарит (от острова Липари в Средиземном море). Цвет светло-серый до белого. Минеральный состав такой же, как у гранитов — полевые шпаты, кварц, слюды. В незначительных количествах присутствуют темные минералы — биотит, роговая обманна, пироксены и некоторые другие аксессуарные минералы — циркон, апатит и др.

Структура микрозернистая, скрытокристаллическая до стекловатой. Текстура пород массивная, пористая, иногда волокнистая. Липариты характеризуются значительной прочностью — сопротивление раздавливанию составляет 133–180, а иногда достигает 300 кгсм². Как эффузивная порода липарит залегает в виде лавовых потоков, но иногда наблюдается в верхних горизонтах интрузивных массивов — лакколитов, даек и др. В зависимости от особенностей кристаллического строения, характера структур и минерального состава выделяются различные разновидности (кварцевые порфиры и др.). При разрушении полевых шпатов среди липаритов накапливаются иногда большие массы каолинита, являющегося отличным сырьем для производства фарфора (г. Мейсен в Саксонии). Липариты широко используются как абразивный материал для шлифовки и полировки, при производстве бумаги. Ввиду их пористости применяются как легкий строительный материал и заполнитель.

Пегматит (от древнегреческого «пегматос» — крепкая связь). Цвет преимущественно серый и темно-серый. У большинства пегматитов минеральный состав такой же, как и гранитов, так как первоначально к пегматитам относились только жильные крупнозернистые породы гранитного состава. В последнее время к пегматитам относят породы весьма крупнокристаллического строения, имеющие разнообразный минеральный состав. Выделяются пегматиты, связанные с кислыми, средними и основными породами. Соответственно этому в первых преобладают полевые шпаты и кварц, во вторых — полевые шпаты и роговая об-

манка, в третьих — полевые шпаты из группы основных плагиоклазов (главным образом лабрадор) и пироксены, а иногда и оливин. Структура крупнокристаллическая, иногда именуемая пегматитовой. Текстура неориентированная, пятнистая. Порода характеризуется высокой прочностью, но обычно заметно уступает гранитам. На поверхности Земли значительно легче, чем граниты подвергаются разрушению. Условия образования пегматитов до настоящего времени не выяснены. По представлению некоторых исследователей пегматиты образуются при кристаллизации магматических расплавов особого (пегматитового) состава. По мнению других — пегматиты являются продуктом перекристаллизации некоторых исходных магматических пород под воздействием пневматолитовых (газовых) растворов. В некоторых случаях наблюдаются оригинальные разновидности пегматитов, в которых происходит срастание кристаллов микроклина и кварца, образующие на полированных поверхностях рисунок, напоминающий древнееврейские письмена. Эта разновидность называется «еврейским камнем» или «письменным гранитом». Для пегматитов характерны очень крупные кристаллы минералов, входящих в их состав. В природе пегматиты чаще всего залегают в виде жил, линз и даек. В пегматитах часто содержатся такие ценные полезные ископаемые, как слюды (мусковит, флогопит), флюорит, а также соединения редких и рассеянных элементов. Все крупные промышленные месторождения слюд приурочены к пегматитовым жилам. Пегматит используется как обычный строительный камень, а также как поделочный и облицовочный материал.

Диорит (от греческого «диорас» — различаю). Цвет зеленоватый, серый, иногда темно-серый до черного. Среди минералов, образующих породу, преобладают плагиоклазы (70–75 %) и роговая обманка. Из плагиоклазов главными являются андезит и олигоклаз. Изредка присутствуют ортоклаз, микроклин, хлорит, слюды, пирит и некоторые другие. В некоторых случаях содержится кварц и породы называются кварцевыми диоритами, а при содержании кварца около 10% они являются переходными к гранитам и называются гранодиоритами. В этих разновидностях существенное содержание имеют среди полевых шпатов ортоклаз и микроклин (иногда до 25–30 %). Структура диоритов обычно равномернотернистая, изредка порфировидная. Текстура неориентированная, массивная, чрезвычайно редко пятнистая. Диориты являются очень прочными породами, превосходящими по прочности и вязкости в неко-

торых случаях граниты. Сопротивление раздавливанию у них составляет 1800–2400 кг/см². Особенно прочными являются мелкозернистые диориты. Значительно ухудшает показатели прочности наличие в породах слюд, пирита. Являясь интрузивными породами, диориты залегают обычно в виде штоков, даек и жил. Диориты широко используются в строительстве. Они являются одним из лучших бутовых камней и заполнителей бетона, особенно как основания под мостовые фермы, используются для мощения улиц, а также как поделочный и облицовочный материал.

Андезит (от названия гор Анды в Южной Америке). Цвет серый, темно-серый, иногда буроватый. В минеральном составе пород главное значение имеют средние плагиоклазы (андезин), роговая обманка и в меньшей мере пироксены. Кроме того присутствуют ортоклаз, микроклин и как акцессорные — апатит, магнетит, хлорит и некоторые другие. Структура порфировая и скрытокристаллическая. Текстура неориентированная, часто слоистая, сланцевая. В свежем виде породы иногда бывают довольно прочными. Сопротивление раздавливанию 1200–2400 кг/см². Формы залегания характерные для эффузивных пород — лавовые покровы, но иногда и характерные для переходных — полуглубинных пород — лакколиты, штоки, дайки. Выделяются разновидности преимущественно по преобладанию или значительному содержанию некоторых минералов (пироксеновые, роговообманковые, чрезвычайно редко биотитовые андезиты). Эти породы крайне редко содержат в себе сопутствующие полезные ископаемые. В частности, в некоторых измененных андезитах содержится золото. Андезиты используются как бутовый и дорожно-строительный камень, а также как кислотоупорный материал.

Сиенит (от г. Сиена в Италии). Цвет розовый, красный, серый. По цвету, структуре, текстуре, формам залегания и отдельности весьма близок к граниту. Среди минералов преобладают микроклин и ортоклаз (до 70 %), роговая обманка. В незначительных количествах встречаются пироксены, изредка кварц (кварцевые сиениты), а также апатит, магнетит, слюды. Довольно часто полевые шпаты в значительной мере замещаются нефелином и возникают нефелиновые сиениты. Выделяются также кварцевые сиениты. При наличии плагиоклазов сиениты по минеральному составу приближаются либо к кислым породам (диоритам), либо к основным (габбро). Структура сиенита зернистая, часто порфировидная. Текстура неориентированная, массивная, иногда пятнистая, изредка

флюидальная. Сиенит характеризуется значительной прочностью. Сопротивление раздавливанию $1500\text{--}2000\text{ кг/см}^2$. Отсутствие кварца несколько снижает прочность сиенита по сравнению с гранитом, но облегчает обработку этой породы. В природе сиениты часто образуются совместно с гранитом, связаны с ними постепенными переходами, поэтому формы залегания их аналогичны формам залегания гранитов, но они не образуют таких крупных массивов, как граниты. Иногда вблизи сиенитовых массивов формируются крупные залежи железорудных минералов, имеющих важное промышленное значение (горы Высокая, Благодать на Урале и другие). Сиениты используются в меньшей степени, чем граниты, потому что они значительно реже встречаются вблизи земной поверхности. Применяются они для тех же целей — как строительный, поделочный и облицовочный материал.

Трахит (от греческого «трахис» — шершавый, шероховатый). Цвет серый, красноватый, реже кирпично-красный. По минеральному составу очень близок к сиенитам. В породе преобладают микроклин и ортоклаз. Подчиненное значение имеют роговая обманка, пироксены, биотит, изредка кварц. Структура микрозернистая, скрытокристаллическая, иногда порфировидная (иногда выделяется трахитовая структура), изредка почти стекловатая. Порода характеризуется шероховатым изломом. Текстура неориентированная, иногда пятнистая. Породы характеризуются сравнительно малой прочностью — сопротивление раздавливанию составляет всего $600\text{--}700\text{ кг/см}^2$. В природе трахиты залегают в виде лавовых потоков и покровов, иногда куполов (аналогов лакколлитов), пластовых залежей, даек, характерных для эффузивных пород. В зависимости от структурных признаков, степени разрушения входящих в их состав минералов, выделяют некоторые разновидности этих пород (ортофиры, кератофиры и др.). Несмотря на прочность, трахиты широко используются как обычный строительный камень. Применяются эти породы также как кислотоупорный материал.

Габбро (по названию местности в северной Италии). Цвет черный, темно-зеленый, коричнево-бурый, иногда темно-серый. Обычно характерны более светлые включения, придающие природе пятнистую окраску. В минеральном составе наблюдается примерно равное содержание других главных минералов пироксена и темноокрашенного плагиоклаза (обычно лабрадора). Кроме того, в породе содержатся второстепенные минералы — оливин, роговая обманка, биотит, магнетит, микроклин, а

также акцессорные минералы — апатит, корунд, гранат, хлорит и некоторые другие. Структура полнокристаллическая, обычно крупно- или среднезернистая, часто с хорошо ограненными кристаллами плагиоклазов и пироксена. Иногда такая структура называется габбровой. Изредка наблюдается порфириовидная структура. Текстура массивная, пятнистая, иногда полосчатая. Габбро характеризуется значительной прочностью. Незатронутая разрушением порода имеет высокое сопротивление раздавливанию — от 2000 до 2800, а иногда до 3500 кг/см². Высокая прочность породы и ее устойчивость к разрушению позволяет широко использовать габбро при гидротехническом строительстве. В зависимости от изменения состава плагиоклазов, а также появления в породе некоторых темно-зеленых минералов (в частности оливина) выделяют многочисленные разновидности габбро. Формы залегания габбро в земной коре характерны для интрузивных пород. Чаще всего габбро залегает в виде штоков, лакколлитов, лополитов, даек. Характерным для габбро является частое изменение структуры, текстуры и минерального состава на незначительных расстояниях. К массивам, сложенным габбровыми породами, приурочены многие ценные полезные ископаемые — руды титана, железа, ванадия, меди, кобальта, а также месторождения платины, корунда. Габбро широко используется как обычный строительный и декоративный материал.

Базальт (от латинского «базальтес» — камень из Базана в Сирии, либо от эфиопского «базаль» — кипяченый). Цвет черный, иногда с зеленоватым оттенком, реже темно-серый и бурый. Главными минералами являются авгит, оливин и лабрадор (или близкий к нему плагиоклаз). Как второстепенные, присутствуют магнетит, роговая обманка, кварц, апатит. Структура кристаллическая — мелко- или среднезернистая, изредка скрытокристаллическая или крупнозернистая, а также порфириовая. Текстура массивная, неориентированная, пористая, пятнистая (миндалевидная), полосчатая. Породы являются одними из самых прочных. Сопротивление раздавливанию составляет от 2000 до 3500, а иногда достигает 5000 кг/см². Базальты при плотном сложении очень устойчивы и трудно подвергаются разрушению под воздействием внешних факторов. Являясь одним из наиболее распространенных эффузивных пород, базальты залегают в виде лавовых потоков и лавовых покровов, занимающих огромные территории (например, на плоскогорье Декан в Индии они распространены на площади свыше

2,5 млн. км²). Выделяются разновидности по минеральному составу (оливиновые, плагиоклазовые, кварцевые), а также структурным особенностям (долериты — крупнозернистые, анамнезиты — среднезернистые) и другим признакам. Иногда к базальтовым массивам приурочены промышленные месторождения руд свинца, цинка, меди, никеля, платины и других металлов. Ввиду широкого распространения базальтов в верхних горизонтах земной коры и их высокой прочности они используются как великолепный строительный материал. При наличии параллелепipedальной отдельности, эти породы являются прекрасным материалом для брусчатки. Таким материалом, в частности, вымощена Красная площадь в Москве. В связи с невысокой температурой плавления (1200–1250°C) базальты в последнее время широко применяются для каменного литья и изготовления труб, деталей машин, работающих в агрессивных средах.

Диабаз (греческое «диа» — раз, через; по аналогии с базальтом). Представляет собой палеотипный (древний) аналог базальта, чем и обусловлено некоторое его отличие. Цвет черный, часто бурый, зеленоватый; изменение окраски до бурой и зеленоватой обусловлено появлением гидроокислов железа и других минералов при длительных процессах разрушения вблизи поверхности Земли. Главными породообразующими минералами являются пироксены и плагиоклазы. Наряду с этими минералами, в отличие от базальтов, существенное значение имеют минералы, образовавшиеся вследствие изменения и преобразования первоначально сформировавшихся минералов. Среди вторичных минералов существенное значение имеют кальцит, роговая обманка, хлорит и некоторые другие. Структура мелко- и среднезернистая. Текстура массивная, пятнистая (миндалевидная). По физическим свойствам заметно отличаются от базальтов меньшей прочностью. Сопротивление раздавливанию не превышает 1200–1800 кг/см². Как эффузивные породы в природе образуют чаще всего огромные по площади лавовые покровы (например, Сибирские траппы между р. р. Енисей и Лена площадью свыше 1 млн. км²). Выделяются различные разновидности по минеральным примесям (кварцевые диабазы), по наличию стекловатой массы в основной мелкокристаллической структуре (витродиабазы) и другим признакам. Применение диабазов такое же, как и базальтов.

Лабрадорит (от названия полуострова Лабрадор). Цвет темно-серый до черного. По минеральному составу аналогичен обычному

габбро с резким преобладанием темного плагиоклаза лабрадора (до 90 % породы). Структура крупнокристаллическая. Текстура массивная. Физические свойства, условия образования и формы залегания те же, что и у габбро. В природе лабрадорит всегда встречается среди габбровых пород, с которыми он связан постепенными переходами. Характеризуется очень красивыми цветами и иризацией кристаллов лабрадора на полированных поверхностях (синеватые и голубоватые цвета). В связи с этим лабрадорит является одним из самых ценных декоративных камней. Из лабрадорита, в частности, изготовлен постамент памятника Т. Г. Шевченко в . Харькове, некоторые детали облицовки станций метрополитенов и др.

Пироксенит (от названия главного минерала — пироксена). Цвет темно-зеленый до черного. По минеральному составу порода однородная и состоит почти полностью из пироксенов, изредка со значительным содержанием оливина. В качестве второстепенных и аксессуарных минералов присутствуют плагиоклазы, гранаты, тальк, хлорит и др. Структура кристаллическая. Текстура массивная, неориентированная. Физические свойства — породы в свежем виде довольно прочные и устойчивы по отношению к разрушающим факторам. Ввиду высокого удельного веса минералов, входящих в их состав, эти интрузивные породы обычно сосредоточены в более низких горизонтах интрузивных массивов. Среди пироксенитов выделяются различные разновидности в зависимости от того, какой из минералов группы пироксенов преобладают в породе. К массивам этих пород приурочены месторождения асбеста, магнетита, хромита, талька и некоторых других полезных ископаемых. Пироксениты редко встречаются вблизи поверхности Земли. В тех случаях, когда наблюдаются крупные залежи, пироксениты могут быть использованы как обычный строительный материал.

Перидотит (от греческого «пери» — вокруг). Цвет черный, иногда с зеленоватым оттенком. По минеральному составу порода состоит преимущественно из оливина, но часто содержит значительное количество пироксенов. Кроме того в породе присутствуют как второстепенные и аксессуарные минералы биотит, хромит, асбест, гранаты и другие. Структура кристаллическая. Текстура массивная, при разрушении с образованием асбеста, иногда полосчатая. Так же, как и другие ультраосновные породы, в свежем виде обладают значительной прочностью, но при преобразовании минералов прочность резко уменьшается. Так же,

как и другие ультраосновные породы, образуется в глубинных частях интрузивных массивов. Наблюдаются различные разновидности перидотитов в зависимости от состава минералов. Особое значение имеет разновидность кимберлит (по местности Кимберли в Южной Африке), характеризующаяся преобладанием в минеральном составе оливина, в значительной мере преобразованного. Кроме того, присутствуют биотит, гранаты, шпинель, соединения никеля и кобальта и другие минералы. Среди перидотитов залегают такие ценные полезные ископаемые, как руды никеля, хрома, а также асбеста и алмазы (в кимберлитах). Крупнейшие в нашей стране якутские алмазные месторождения приурочены именно к таким породам. Перидотиты могут применяться как обычный строительный материал.

Дунит (от названия горы Дун в Новой Зеландии). Цвет черный с зеленоватым оттенком, иногда темно-зеленый. По минеральному составу почти однородная порода, состоящая из оливина (98–99 % породы.) Кроме того присутствуют в незначительных количествах хромит, асбест, пироксены, изредка роговая обманка, биотит, магнетит. Структура кристаллическая. Текстура неориентированная. В свежем виде породы характеризуются значительной прочностью. Как и другие ультраосновные породы обычно образуются в глубинных горизонтах интрузивных массивов. В этих породах часто содержатся значительные концентрации таких ценных полезных ископаемых как хромит и платина. Вблизи поверхности дуниты наблюдаются сравнительно редко, что ограничивает их практическое использование. Они могут быть использованы как обычный естественный строительный материал.

Дальше описываются породы, которые не относятся к какому-либо одному классу по кислотности, но обладают определенными структурными и текстурными признаками, позволяющими объединить их в группы с близкими показателями физических свойств.

Порфирит (от греческого «порфирес» — красный, пурпурный). Цвет разнообразный — красный, серый, розовый, черный, обусловленный составом главных породообразующих минералов. Минеральный состав разнообразный — преобладают порфириты средние по кислотности, но встречаются и основные, и кислые. (Порфирами обычно принято называть породы, содержащие плагиоклазы). В средних по составу порфиритах преобладают роговые обманки, пироксены и средние плагиоклазы. В основных порфиритах — пироксены, роговая обманка, ос-

новные плагиоклазы (преимущественно лабрадор). Кислые по составу порфиры состоят из микроклина и ортоклаза, кварца, а также слюд и некоторых других минералов. Структура порфировая и порфировидная. Текстура неориентированная (массивная), иногда пятнистая, изредка слоистая. Большой частью порфириты являются довольно прочными породами. Сопротивление раздавливанию составляет 1200–2400 кг/см², а иногда до 3000 кг/см². Являясь эффузивными породами, порфириты залегают в виде лавовых потоков и покровов, но встречаются и в виде лакколитов, даек, силлей. В зависимости от изменения минерального состава выделяются разновидности порфиритов — липаритовые (кислые) трахитовые и андезитовые (средние), базальтовые (основные) и другие. В зависимости от состава порфиритов к ним могут быть приурочены определенные полезные ископаемые, о чем было сказано при рассмотрении соответствующих главных представителей пород. Эти прочные кристаллические породы широко используются как строительный камень для самых различных целей, а разновидности с красивой окраской и рисунком применяются как высококачественный декоративный материал при сооружении лестничных маршей, как облицовочный материал, при изготовлении ваз и других поделок.

Обсидиан (по имени римлянина Обсидиуса, привезшего породу из Эфиопии). Синоним — вулканическое стекло. Цвет черный, темно-серый, коричневый, бурый. По химическому и минеральному составу относится к кислым, средним и основным магматическим породам. Среди общей стекловатой массы иногда наблюдаются микроскопические кристаллы минералов, характерных для определенного класса пород. В большинстве случаев кислые обсидианы обычно характеризуются более светлой окраской. Структура стекловатая. Текстура массивная, пятнистая, слоистая. Породы характеризуются высокой прочностью и стойкостью по отношению к внешним разрушающим факторам. Породы всегда характеризуются раковистым изломом. Обсидианы образуются при излиянии лавы непосредственно на поверхность и быстром ее застывании, исключаящем практически кристаллизацию вещества расплавов. Они залегают в виде потоков, силлей и даек. Среди обсидианов выделяются разновидности (липаритовые — кислые, андезитовые — средние, базальтовые — основные). Кроме того, различают разновидности по внешним признакам — обсидианы (со стекляннным блеском), пехштейны (с жирным блеском), перлиты (с тонкими трещинками). В

пехштейнах нередко наблюдаются в стекловатой массе отдельные кристаллики кварца, полевых шпатов, слюд и других минералов. Обсидианы используются как абразивный материал, а также в ювелирном производстве различных поделок, особенно разновидности с пятнистой и полосчатой структурой.

Пемзы (от латинского «пумекс» — пена). Цвет белый, желтый, серый, черный, коричневый, бурый. Минеральный и химический состав изменяется от кислых до основных. При этом большая часть породы представлена стекловатой массой и состав их определяется химическими анализами. В большинстве случаев кислые и средние по составу пемзы бывают более светло окрашенными. Изредка встречаются отдельные мелкие кристаллики минералов, входящих в состав пемзы (чаще всего кварца, полевых шпатов). Структура стекловидная, скрытокристаллическая. Текстура пористая, пузырчатая. Порода характеризуется сравнительно небольшой прочностью. Вследствие высокой пористости пемза обладает малым объемным весом (менее 1) и порода плавает в воде. Образуются при излиянии лавы (часто подводных) условиях выделения большого количества газов и быстрого застывания. Залегают обычно в виде покровов, занимающих незначительные площади. Выделяются разновидности по цвету и химическому составу. Используются пемзы преимущественно как абразивный материал.

Туф вулканический. Эти породы относятся к смешанным по происхождению — вулканогенно-осадочный. Они сложены обломками вулканического стекла, минералов, а также обломками горных пород, возникающими в результате действия вулканов. Эти обломки под действием высоких температур спекаются и после охлаждения обладают кристаллическими связями между частицами. Цвет пород разнообразный, зависящий от минерального состава, но преобладающими являются серые, зеленые, бурые и фиолетовые цвета. По минеральному составу вулканические туфы разнообразны — от кислого до основного с преобладанием соответствующих минералов. Вместе с тем в туфах всегда присутствуют обломки не только магматических, но также осадочных или метаморфических пород, возникших ранее до начала вулканической деятельности. Структуры разномасштабные — породы сложены как мелкими частицами (пепел, песок), так и крупными в несколько миллиметров (вулканические бомбы). Текстура пятнистая, реже слоистая, пористая. Поскольку породы характеризуются наличием большого количества

ва пустот, они обладают небольшим объемным весом. Прочность их сравнительно невелика. Сопротивление раздавливанию составляет от 80 до 750 кг/см². Как породы смешанного происхождения (вулканогенно-осадочные) вулканические туфы образуются при действии вулканов вследствие перемешивания застывших частиц лавы, обломков различных пород, образовавшихся при взрывах вулканов и последующего спекания и цементации этих разнообразных материалов. Они обычно залегают в виде покровов, линзообразных и пластообразных залежей. Выделяются разновидности вулканических туфов главным образом по минеральному составу эффузивного материала, всегда составляющего преобладающую часть породы (липаритовые, трахитовые, андезитовые, базальтовые). Кроме того, выделяются разновидности по содержанию обломков осадочных пород, размеров частиц и другим признакам. Вулканические туфы широко применяются в строительстве. Ввиду относительной прочности и малой теплопроводности они используются как стеновой материал в зданиях невысокой этажности. Кроме того, красиво окрашенные разновидности являются прекрасным облицовочным материалом, используемым для облицовки зданий (многие здания г. Ереван) и внутренние отделки (станции метрополитена, административные здания). Для этой цели особенно широко применяются туфы месторождений Армении.

В таблице 2.4 приводится краткое описание магматических пород.

2.5.2 Осадочные горные породы. Осадочные горные породы имеют первостепенное значение в строительном производстве, поскольку в верхней части земной коры они являются самыми распространенными, а магматические и метаморфические располагаются на поверхности только на крайне ограниченных по площади участках. В связи с этим в подавляющем большинстве случаев осадочные породы являются основанием различных сооружений. Многие ценные полезные ископаемые сосредоточены преимущественно, а некоторые (угли, нефть, горючие газы, марганцевые руды и др.) исключительно в осадочных породах, чем обусловлено широкое развитие горно-строительных работ в этих породах. Кроме этого многие осадочные породы являются ценными естественными строительными материалами или сырьем для изготовления разнообразных стройматериалов и различных изделий.

Таблица 2.4

Краткое описание магматических пород

№ п/п	Название породы	Группа (по месту образования)	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Применение
Кислые породы (SiO_2 — 76–65%)							
1	Гранит	интрузивная	серый, розовый, красный, зеленоватый	полевые шпаты (40–60 %), кварц (20–40 %), биотит, мусковит, роговая обманка	кристаллическая (от мелкой до крупной)	неориентированная (массивная), пятнистая	бутовый камень, щебень, дорожно-строительный материал, облицовочный, декоративный материал
2	Липарит	эффузивная (кайнотипная)	светло-серый до белого	полевые шпаты, кварц, биотит, мусковит	микрозернистая, скрытокристаллическая до стекловатой	пористая, неориентированная, слоистая	абразивный материал, заполнитель в строительстве, производство бумаги
3	Пегматит	интрузивная (жильная)	серый и темно-серый до черного	полевые шпаты, кварц, мусковит, биотит, в некоторых разновидностях (средних и основных) лабрадор, пироксены, оливин	пегматитовая (крупнокристаллическая)	массивная, пятнистая	строительный, поделочный, облицовочный материал

Продолжение табл. 2.4 — Краткое описание магматических пород

№ п/п	Название породы	Группа (по месту образования)	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Применение
Средние породы ($\text{SiO}_2 - 65 - 52\%$)							
4	Диорит	интрузивная	зеленоватый, серый, темно-серый до черного	плаггиоклазы (до 70–75 %), роговая обманка, слюды, хлорит, изредка кварц	равномерно-зернистая, изредка порфировидная	массивная, изредка пятнистая	бутовый камень, заполнитель бетона, дорожно-строительный и облицовочный материал
5	Андезит	эффузивная	серый, темно-серый, буроватый	средние плаггиоклазы (андезин), роговая обманка, пироксены, изредка ортоклаз, микроклин	порфировая, скрытокристаллическая	массивная, реже слоистая, сланцевая	бутовый, дорожно-строительный камень, кислотоупорный материал
6	Сиенит	интрузивная	розовый, красный, серый	микроклин и ортоклаз (до 70 %), роговая обманка, изредка пироксены, кварц	кристаллическая, порфировидная	массивная, пятнистая, изредка флюидальная	строительный, облицовочный, поделочный материал
7	Трахит	эффузивная	серый, красноватый, кирпично-красный	микроклин и ортоклаз, роговая обманка, пироксены, биотит, кварц	микрзернистая, порфировидная, изредка стекловатая	массивная, пятнистая	строительный и кислотоупорный материал

Продолжение табл. 2.4 — Краткое описание магматических пород

№ п/п	Название породы	Группа (по месту образования)	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Применение
Основные породы (Si – 52 – 40%)							
8	Габбро	интрузивная	черный, темно-зеленый, бурый, темно-серый	пироксен, плагиоклаз (лабрадор), в незначительных количествах оливин, роговая обманка, биотит	кристаллическая (крупно- и среднезернистая)	массивная, пятнистая, изредка полосчатая	строительный и декоративный (облицовочный) материал
9	Базальт	эффузивная	черный, иногда с зеленоватым оттенком, темно-серый, бурый	авгит, оливин, лабрадор, роговая обманка	мелкокристаллическая, изредка среднезернистая, порфировая	массивная, пористая, пятнистая	дорожно-строительный материал (брусчатка), бутовый камень, каменное литье
10	Диабаз	эффузивная	черный, иногда с зеленоватым оттенком, бурый	пироксены, плагиоклазы, роговая обманка, кальцит, хлорит	мелкозернистая, среднезернистая	массивная, пятнистая (миндалевидная)	бутовый камень, дорожно-строительный материал, каменное литье, декоративный камень

Продолжение табл. 2.4 — Краткое описание магматических пород

№ п/п	Название породы	Группа (по месту образования)	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Применение
11	Лабрадорит	интрузивная	темно-серый до черного с иризацией	лабрадор (до 90 %), пироксены, роговая обманка, оливин	крупнокристаллическая	массивная	декоративный камень
Ультраосновные породы (SiO_2 менее 40 %)							
12	Пироксенит	интрузивная	темно-зеленый до черного	пироксены, оливин, плагиоклаз	кристаллическая	массивная	строительный материал
13	Перидотит	интрузивная	черный с зеленоватым оттенком	оливин, пироксены, биотит, асбест	кристаллическая	массивная, изредка полосчатая	строительный материал
14	Дунит	интрузивная	черный с зеленоватым оттенком, иногда темно-зеленый	оливин, пироксены, роговая обманка	кристаллическая	массивная	строительный материал
Породы различного химического (и минерального) состава (содержание SiO_2 различное)							
15	Порфирит	эффузивная	красный, розовый, серый, черный	плагиоклазы, микроклин, ортоклаз, пироксены, роговая обманка	порфировая, порфировидная	массивная, пятнистая, изредка слоистая	строительный, поделочный, декоративный материал

Продолжение табл. 2.4 — Краткое описание магматических пород

№ п/п	Название породы	Группа (по месту образования)	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Применение
16	Обсидиан	эффузивная	черный, темно-серый, коричневый, бурый	стекловатая масса, отдельные кристаллики кварца, полевых шпатов, слюд	стекловатая	массивная, пятнистая, слоистая	абразивный и поделочный материал, ювелирное производство
17	Пемза	эффузивная	белый, желтый, серый, коричневый, бурый	стекловатая масса, отдельные кристаллики кварца, полевых шпатов и других минералов	стекловатая, скрытокристаллическая	пористая, пузырчатая	абразивный материал
18	Туф вулканический	смешанная (вулканическо-осадочная)	серый, зеленый, бурый, фиолетовый	стекловатая масса, обломки различных горных пород и минералов	разнозернистая	пятнистая, слоистая, пористая	стенной и облицовочный материал

Ввиду существенного различия физических свойств различных генетических классов осадочных пород, описание их осуществляется раздельно.

Следует иметь в виду, что в природе часто наблюдаются породы смешанного генезиса — обломочно-химические (по-видимому некоторые глины, мергели и др.), биохимические и органогенно-химические (трепелы, опоки). В настоящем учебном пособии приняты деления, наиболее распространенные в литологии.

2.5.2.1 Обломочные породы. Для этого класса пород при оценке их физических свойств важнейшее значение имеет размер частиц, слагающих породу, формы частиц, а также наличие или отсутствие цемента. Существенное значение также имеет состав и тип цемента для сцементированных пород. Минеральный состав обломочной части пород во многих случаях играет второстепенную роль. При оценке цемента существенное значение имеет его структура, текстура и минеральный состав. По структуре выделяют цемент — кристаллический, различной размерности, скрытокристаллический. По текстуре наиболее распространенными типами цемента являются базальный (обломки погружены в цемент и не соприкасаются друг с другом), контактный (цемент развит только в местах соприкосновения зерен), поровый (заполняют промежутки между обломками) и другие. Очень часто наблюдается цемент смешанной структуры. По минеральному составу наиболее распространенными являются глинистый, карбонатный, кремнистый, железистый, сульфатный и другие. Важными для оценки обломочных пород являются такие текстурные признаки как пористость, характер слоистости, наличие включений и т.д.

Ниже приводится описание важнейших обломочных пород.

2.5.2.1.1. Псефиты. **Псефиты** (от греческого «псефос» — камешек). По сравнению с другими обломочными породами имеют довольно ограниченное распространение. Образуются в результате разрушения плотных разновидностей магматических, метаморфических и осадочных пород, последующего дробления обломков, а иногда истирания и окатывания их при переносе. Следует иметь в виду, что обломки, перенесенные на небольшие расстояния, обычно имеют угловатую форму, а подвергшиеся длительной транспортировке — окатанную со сглаженными поверхностями. Кроме того, степень окатанности зависит от прочности пород, образующих обломки. В такой же мере это относится

и к размерам обломков — более длительный процесс дробления и переноса способствует образованию все более мелких обломков. Перенос обломков осуществляется водой и льдом. В связи с этим осаждение и накопление псефитов происходит по мере ослабления энергии потоков. Вследствие таких условий образования псефиты формируются в прибрежных зонах морей и озер, долинах рек и на путях движения ледников. На незначительные расстояния обломки перемещаются под влиянием силы тяжести по склонам. Структура псаммитовая. Сложение пород как рыхлое, так и плотное. Формы залегания характерны для всех осадочных пород. Минеральный состав псефитов самый разнообразный. В рыхлых псефитах часто содержится значительный запас подземных вод.

Валуны, гальки, гравий представляют собой рыхлые (не сцементированные) окатанные обломки различных пород, размерами соответственно более 200 мм, от 200 до 10 мм, от 10 до 1 мм. В тех случаях, когда они состоят из обломков плотных пород, широко используются как строительный материал — бутовый, балластный камень, заполнитель в бетон.

Глыбы, щебень и дресва являются рыхлыми разновидностями псефитов, которые сложены угловатыми обломками пород. Размеры обломков такие же, как у валунов, галек, гравия. Эти породы также широко используются в качестве естественных строительных материалов. Как заполнители в бетон они являются более качественным материалом, так как сцепление с цементом у них более прочное. Широкое использование этих пород обусловлено также тем, что они во многих местах залегают на поверхности и разработка их не вызывает затруднений.

Конгломерат. Цвет самый разнообразный, наиболее распространенный серый, бурый, коричневый, розовый. Часто наблюдаются пестроокрашенные конгломераты, что обусловлено как окраской обломков, так и цемента. Структура псефитовая. Обломки окатанные, иногда до сферической формы. Размеры обломков (галек, валунов) колеблется от 10 до 200 и более миллиметров. Минеральный состав обломков самый разнообразный. Чаще всего это обломки различных магматических, осадочных и метаморфических пород, значительно реже — обломки мономинерального состава (кварц, халцедон, кальцит). Цемент контактовый, поровый, изредка базальный. Состав цемента глинистый, карбонатный, кремнистый и др. Изредка цементом являются рудные минералы, а иногда и самородные металлы (золотоносные конгломераты Юж-

ной Африки). Текстура преимущественно пятнистая, реже массивная. Сложение пород плотное, иногда пористое. Некоторые разновидности обладают высокой прочностью (особенно при наличии кремнистого цемента и галек магматических или метаморфических). В природе конгломераты залегают в виде линз, пластообразных залежей, пластов. Иногда в конгломератах содержатся различные ценные полезные ископаемые (рудные минералы, фосфаты и др.). Конгломераты могут использоваться как бутовый камень, заполнитель в бетон (после дробления). В некоторых случаях полированные плитки конгломерата используются как красивый декоративный материал.

Гравелит. По главным признакам порода аналогична конгломерату. Существенное различие заключается в более мелких размерах обломков (10–1 мм). В связи с этим при том же составе обломков и цемента породы обычно более плотные. Кроме того, у гравелитов часто отличаются слоистые текстуры.

Брекчия. Цвет чаще всего серый, темно-серый, бурый до черного, часто наблюдается пестрая окраска. Структура псефитовая. Обломки угловатые, иногда остроугольные. Размеры обломков (дресвы, щебня, глыб) колеблются от 1 до 200 и более миллиметров. Минеральный состав обломков разнообразный, наиболее распространенными являются обломки сцементированных осадочных, а также магматических и метаморфических пород. Цемент контактовый, поровый, базальный, часто смешанный. Минеральный состав цемента карбонатный, глинистый, песчано-глинистый, кремнистый. Текстура преимущественно пятнистая, реже массивная. Сложение пород обычно плотное. Вследствие наличия угловатых обломков цементация брекчий более прочная, чем конгломератов и при одинаковом составе обломков и цемента брекчии обладают значительно большей прочностью по сравнению с конгломератами. Брекчии залегают в виде пластообразных залежей, реже в виде линз. Широко распространены тектонические брекчии, образующиеся в зонах разрывов в земной коре, смещения и дробления плотных пород и последующей их цементации. Брекчии используются как обычный строительный материал, а обладающие красивой расцветкой также как декоративный камень, при сооружении лестничных маршей, покрытии полов и облицовке различных зданий и сооружений.

2.5.2.1.2 Псаммиты. **Псаммиты** (от греческого «псаммос» — песок) являются одними из наиболее распространенных и широко исполь-

зуемых осадочных пород. Минеральный состав их самый разнообразный и зависит главным образом от минерального состава исходных пород, из которых они образовались. Вместе с тем (особенно в сцементированных псаммитах) существенное значение в минеральном составе имеют минералы, образовавшиеся в результате химических процессов при превращении осадка в породу (диагенез). С точки зрения минерального состава пород принято выделять три вида псаммитов — мономинеральные (состоящие в основном из одного минерала), олигомиктовые (состоящих из двух главнейших минералов) и полимиктовые (состоящие из нескольких минералов в примерно равных количествах). Залегают псаммиты в виде пластов, пропластков, линзообразных и пластообразных залежей. По гранулометрическому составу (размеру частиц) выделяются грубозернистые (с примесью гравийных частиц), крупнозернистые (размеры частиц 1–0,5 мм), среднезернистые (0,5–0,25 мм), мелкозернистые (0,25–0,1 мм) и тонкозернистые (0,1–0,01 мм), которые обычно содержат примесь алевритового материала. Иногда применяют и другие границы для разделения псаммитов по размерам частиц. Форма зерен изменяется от резко угловатой до окатанной. Псаммиты содержат много ценных полезных ископаемых и сами находят широкое применение.

Песок. Представляет собой рыхлую (несцементированную) разновидность псаммитов. Цвет пород самый разнообразный — серый, белый, желтый, бурый, сиреневый, красный, зеленый, черный и др. Структура псаммитовая с разновидностями. Минеральный состав песков самый разнообразный. Наиболее распространенными являются кварцевые, полевошпатовые (аркозовые), смешанные полевошпатово-кварцевые. Значительно реже встречаются известковые (карбонатные), фосфорные, глауконитовые пески. Сложение пород рыхлое со значительной пористостью. Текстура неориентированная, слоистая, волнисто-слоистая, косо-слоистая, пятнистая. Формы залегания характерны для псаммитовых пород. В песках часто содержатся высокие концентрации различных минералов, являющихся рудами драгоценных, цветных и редких металлов (особенно золота, платины, олова и др.). Очень часто в песках содержатся крупные скопления нефти, горючих газов, подземных вод и других полезных ископаемых. Пески широко применяются в строительном деле как балластный материал для насыпки полотна дорог, заполнители в бетон (особенно пески, образующиеся в долинах горных рек и состоящие

из обломков резко угловатой формы). Кроме того пески используются как сырье для производства силикатного и диасового кирпича, стекла, фаянса, а также для устройства фильтровальных установок, как формовочный материал в металлургии и для других целей.

Песчаник. Является сцементированной разновидностью псаммитов. Цвет разнообразный, как у песков. Структура псаммитовая с теми же разновидностями, что и у песков. Минеральный состав аналогичен пескам. Кроме того, значительно чаще, чем у песков, наблюдаются граувакковые песчаники, содержащие кроме кварца и полевых шпатов обломки различных осадочных, магматических пород. Эти песчаники характеризуются темно-зеленым до черного цветом и значительным содержанием гравийного и алевритового материала. Широким распространением пользуются также туфогенные песчаники (туффиты), содержащие большое количество рыхлых продуктов извержения вулканов. Цемент песчаников разнообразный. Наиболее распространенными является глинистый, карбонатный, кремнистый, реже фосфатный, сульфатный и другие. Структура цемента кристаллическая (чаще всего при карбонатном, сульфатном, кварцевом цементе), скрытокристаллическая (халцедоновый цемент), аморфная (опаловый). По текстуре цемент контактовый, поровый, базальный и др. Часто наблюдаются смешанные типы цемента. Текстуры песчаников и формы залегания такие же, как у песков. Многие разновидности характеризуются плотным сложением и значительной прочностью. Особенно прочными являются породы с кремнистым и кварцевым цементом (кварцитовидные песчаники). Сопротивление раздавливанию составляет 150–1500, а иногда достигает 2600 кг/см². В массивах эти породы часто характеризуются сильной трещиноватостью. В песчаниках иногда содержатся значительные концентрации различных полезных ископаемых. Кроме названных при описании песков, часто наблюдается в цементе окисные соединения железа, сульфиды меди (медистые песчаники, являющиеся одним из главных источников меди) и другие полезные ископаемые. Песчаники широко используются как бутовый, дорожный, а иногда и стеновой материал (особенно при наличии плоскопараллельных отдельностей). Кварцитовидные песчаники являются хорошим сырьем для производства диасового кирпича.

2.5.2.1.3 Алевриты. **Алевриты** (от греческого «алефрон» — пыль, мука). Довольно сходны с псаммитовыми по цвету, минеральному со-

ставу, текстурными признаками. Структура алевритовая (размеры частиц от 0,01 до 0,001 мм), иногда применяют другие границы размеров частиц (чаще всего 0,05–0,005 мм). Условия образования также довольно сходны с генезисом псаммитов. Следует отметить, что в отличие от псаммитов значительно большая часть этих пород накапливалась в результате переноса в воздушной среде и последующего осаждения. При этом пылеватые частицы иногда переносятся ветром на многие сотни и даже тысячи километров (пыльные бури). Принципиально алевриты аналогичны псаммитам и образуются при дальнейшем измельчении обломочного материала. В связи с малыми размерами обломков зерна обычно угловатые. Очень часто в породах содержится песчаный и глинистый материал, вследствие чего в подавляющей части алеврита наблюдаются смешанные алевро-псаммитовые и алевро-пелитовые структуры. Многие алевриты находят применение в строительстве.

Алеврит. Представляет собой несцементированную разновидность этих пород. Цвет разнообразный. Наиболее распространенным является серый, бурый, палевый. Минеральный состав определяется наличием кварца, полевых шпатов, глинистых, карбонатных, кремнистых и других минералов. Структура алевритовая. Обломочный материал представлен преимущественно угловатыми обломками, вследствие чего при растирании породы пальцами ощущается шершавость породы. По этому признаку алевриты легко отличаются от глин. К алевритам относятся также лесс, лессовидные суглинки и супеси, широко распространенные непосредственно на поверхности.

Лесс представляет собой сильно пористую породу палевого (светло-желтого) цвета, содержащую значительное количество карбонатного материала в тонкораспыленном состоянии и в виде стяжений. В сухом состоянии лесс обладает значительным сцеплением между частицами и удерживается в виде вертикальных стенок, а при насыщении водой силы сцепления резко ослабевают, что создает затруднения при строительстве на лессах. Образование лессов окончательно не выяснено — по-видимому они формируются в различных условиях. Лессовидные **суглинки** сходны с лессом, но содержат значительную примесь песчаного материала и в отличие от лесса обладают слоистыми текстурами. **Супеси**, как и суглинки содержат примесь пелитового материала, но значительно больше обогащены песчаными частицами. Все алевриты используются в строительном деле. Многие с успехом применяются для

обустройства улучшенных (грейдерных) грунтовых дорог. Значительная их часть (особенно при низком содержании карбонатов) широко используется для производства кирпича и черепицы.

Алевролит. Представляет собой сцементированную разновидность алевритовых пород. По всем показателям, за исключением структуры, близки к песчаникам. Часто наблюдаются переходы к песчаникам или к сцементированным разновидностям пелитов. Обычно они образуют пропластки и линзы среди песчаных и глинистых пород. Распространены довольно широко, особенно в Донбассе, Карагандинском угольном бассейне и других местах. Алевролиты используются как балластный материал для подсыпки полотна дорог, а также в измельченном виде, как и алевриты, в качестве добавки при подготовке шихты для изготовления кирпича и черепицы.

2.5.2.1.4 Пелиты. **Пелиты** (от греческого «пелос» — глина). Представляют собой особую группу пород, которая иногда выделяется как отдельный класс осадочных пород ввиду существенных отличий от всех обломочных пород как по минеральному составу, так и по условиям образования. В минеральном составе пелитов главная роль принадлежит так называемым «глинистым» минералам — различным слоистым силикатам чешуйчатого строения. Эти минералы в породах обладают особым видом связей между частицами, обуславливающими специфические свойства этих пород. В качестве примесей в пелитах содержатся различные минералы (чаще всего кварц, полевые шпаты и др.) алевритовой и песчаной размерности, а также карбонаты, сульфаты, железистые и различные органические вещества. Минеральным составом основных минералов обусловлены важнейшие физические свойства глин, а также их цвет, на который существенное влияние оказывают и примеси. Структура пелитовая. Текстура неориентированная, пятнистая, слоистая, а в сцементированных разновидностях и сланцевая. Важнейшим физическим свойством рыхлых пелитов (глин), определяющих и их использование, является пластичность — способность изменять форму под воздействием давления и сохранять ее после устранения давления.

Образуются пелиты при осаждении из водных растворов, а также при химических преобразованиях других минералов (главным образом слоистых и каркасных силикатов). Пелиты являются самыми распространенными среди обломочных пород, да и всех осадочных пород. В трещиноватых плотных разновидностях содержатся такие ценные по-

лезные ископаемые, как подземные воды, нефть, горючие газы. Сами пелиты широко используются для строительных и других целей.

Глины. Представляют собой рыхлую разновидность пелитов. Цвет серый, бурый, коричневый, желтый, белый, изредка зеленоватый, синеватый. Довольно часто встречаются пятнистые пестроокрашенные глины. Следует иметь в виду, что окраска глин заметно изменяется при различной влажности. Структура пелитовая. Размер частиц меньше 0,001 мм (иногда принимают менее 0,005 мм). В большинстве случаев в породе содержится примесь алевритового и песчаного материала и иногда глины переходят в алевритистые глины и глинистые алевриты, либо в песчаные глины и глинистые пески. Примеси обломочного материала представлены чаще всего кварцем, полевыми шпатами, реже другими силикатами, кремнистым материалом, а также рудными материалами. Текстура неориентированная, слоистая, листовая, пятнистая. Минеральный состав главной части глин разнообразный, но наиболее распространенными «глинистыми» минералами являются каолинит, гидрослюды и монтмориллонит. Этими минералами определяются многие физические свойства глин и возможности их практического использования. Одно из важнейших свойств глин пластичность определяется составом главных минералов, а также наличием песчаных и алевритовых примесей. Чистые глины называют жирными, а содержащие примесь песчаного или алевритового материала — тощими. Особую разновидность составляют сухарные глины, содержащие примесь легкого кремнистого вещества. В сухом состоянии многие глины обладают значительной прочностью. Эти породы находят широкое применение. Они используются как сырье для изготовления кирпича, черепицы, метлахской плитки. Чистые каолиновые разновидности используются для производства фарфора, фаянса, огнеупорного кирпича, шамота, а также в производстве бумаги, мыловаренной промышленности. Монтмориллонитовые (бентонитовые) глины обладают высокими поглощающими способностями и используются в текстильной промышленности, в металлургии и для других целей.

Аргиллит. Представляет собой сцементированную разновидность пелитов. По цвету, структуре, минеральному составу и формам залегания аналогичны глинам. Текстура часто слоистая, сланцевая, реже массивная. Обычно характеризуется пластичным сложением, образуется при диагенезе глин вследствие кристаллизации некоторых веществ под влиянием химических процессов и частичным воздействием давления.

Вследствие этого породы теряют пластичность и вязкость и обретают определенную твердость. Некоторые разновидности обладают значительной прочностью. Сопротивление сжатию иногда достигает 400 кг/см^2 . Аргиллиты иногда используются как балластный материал, а в последнее время, после измельчения, для производства кирпича и грубой керамики. В таблице 2.5 приводится краткое описание обломочных пород.

2.5.2.2 Химические породы. Для химических пород важнейшим показателем является их химический (а, следовательно, и минеральный) состав. Существенное значение имеют также структурные и текстурные признаки. Наиболее распространенными являются кристаллические структуры различной размерности, реже скрытокристаллические и аморфные. Среди текстур наблюдаются неориентированные (массивные), пятнистые, реже слоистые и другие. Важными текстурными признаками химических пород являются пористость, наличие включений и др. Значительная часть этих пород, обладая кристаллическими структурами, характеризуются значительной прочностью и находят широкое применение в строительстве.

Многие из химических пород являются сырьем для изготовления строительных материалов либо других важных для народного хозяйства изделий. Здесь приведено описание только наиболее важных с точки зрения строительного производства химических пород — карбонатных, кремнистых, сульфатных, каолиновых и глауконитовых. Следует иметь в виду, что многие другие группы химических осадочных пород имеют важное значение, как полезные ископаемые. Так, каменная соль является незаменимым продуктом в пищевой и консервной промышленности. Многие галоидные породы, фосфориты — ценное сырье для получения удобрений. Железные и марганцевые руды, а также бокситы широко используются для получения железа, марганца, алюминия. С характеристикой этих пород можно познакомиться в учебниках по курсу петрографии.

Таблица 2.5

Описание обломочных пород

№ п/п	Название породы	Цвет	Форма обломков	Минеральный состав обломков	Текстура породы	Цемент			Примене- ние
						минераль- ный состав	структура	текстура	
Псефиты (размеры обломков 1–200 мм и более)									
1	Валуны, галька, гравий	серый, черный, бурый, белый, розовый	окатанные	обломки магматических, осадочных, метаморфических пород	неориентированная	—	—	—	бутовый, балластный материал
2	Глыбы (размером более 200 мм)	то же	угловатые	то же	то же	—	—	—	то же
	Щебень (разм. 200–100 мм)	то же	угловатые	то же	то же	—	—	—	то же
	Дресва (размером 10–1 мм)	то же	угловатые	то же	то же	—	—	—	то же
3	Конгломерат (размером более 10 мм)	то же	окатанные	то же	пятнистая, неориентированная	глинистый, карбонатный, кремнистый	кристаллический, скрытокристаллический	контактный, поровый, реже базальный	бутовый камень, заполнитель в бетон, декоративный материал

Продолжение табл. 2.5

№ п/п	Название породы	Цвет	Форма обломков	Минеральный состав обломков	Текстура породы	Цемент			Примене- ние	
						минераль- ный состав	структура	текстура		
4	Гравелит (разм. обломков 10– 1 мм)	то же	окатанные	то же	пятнистая, неориенти- рованная, из- редка слои- стая	то же	то же	то же	то же	
5	Брекчия (разм. более 1 мм)	то же	угловатые	то же	пятнистая, неориенти- рованная	то же	то же	то же	то же	
Псаммиты (размеры обломков от 1 до 0,01 мм)										
6	Песок	серый, бе- лый, жел- тый, бу- рый, фио- летовый, красный, зеленый, черный	угловатая, реже ока- танная	кварц, полевые шпаты, каль- цит, глауконит и др.	неориенти- рованная, слоистая, пятнистая	—	—	—	балластный материал, заполни- тель в бе- тон, произ- водство кирпича, стекла, фа- янса, фор- мовочный материал	

Продолжение табл. 2.5

№ п/п	Название породы	Цвет	Форма обломков	Минеральный состав обломков	Текстура породы	Цемент			Примене- ние
						минераль- ный состав	структура	текстура	
7	Песчаник	то же	то же	то же	то же	глинистый, карбонат- ный, крем- нистый, фосфатный, сульфатный	кристал- лический, скрыток- ристалли- ческий, аморфный	контак- товый, поровый, базаль- ный, смешан- ный	бутовый, дорожный, стеновой материал, пр-во ди- насового кирпича
Алевриты (размеры обломков от 0,01 до 0,001 мм)									
8	Алеврит	серый, бурый, палевый и др.	угловатая	кварц, полевые шпаты, глини- стые, карбо- натные, крем- нистые мине- ралы	неориенти- рованная, пятнистая, редко слои- стая	—	—	—	обустрой- ство улуч- шенных грунтовых дорог, про- изводство кирпича, черепицы
9	Алевролит	то же	то же	то же	то же	глинистый, карбонат- ный, крем- нистый и др.	кристал- лический, скрыток- ристалли- ческий, аморфный	контакто- вый, по- ровый, базаль- ный, смешан- ный	балластный материал, производ- ство кир- пича, чере- пицы

Продолжение табл. 2.5

№ п/п	Название породы	Цвет	Форма обломков	Минеральный состав обломков	Текстура породы	Цемент			Применение
						минеральный состав	структура	текстура	
10	Глина	серый, бурый, коричневый, желтый, белый, изредка зеленоватый, синеватый, часто пестрый	—	каолинит, гидрослюда, монтмориллонит и др. глинистые минералы	неориентированная, слоистая, листоватая, пятнистая	—	—	—	производство кирпича, черепицы, метлахской плитки, фаянса, фарфора, огнеупорного кирпича, бумаги, мыла, в текстильной и металлургической промышленности
11	Аргиллит	то же	—	то же	слоистая, сланцеватая, пятнистая, неориентированная	те же глинистые минералы	скрытокристаллический	контактный	балластный материал, производства кирпича и грубой керамики

2.5.2.2.1 Карбонатные породы. Среди химических осадочных пород являются наиболее распространенными. Довольно часто они образуют толщи во много сотен и даже тысячи метров, занимающие огромные территории. Учитывая физические свойства и возможности широкого использования для различных целей строительного и других видов производства эти породы среди химических имеют первостепенное значение для строительства. Наиболее широким распространением пользуются известняки, мергели, доломиты, значительно меньшим — сидериты, туфы.

Известняк. Цвет серый, белый, желтый, бурый, красный, черный. Часто наблюдается пестрая окраска. Главным минералом является кальцит, составляющий иногда 95–98 % породы. Обычно всегда содержится примесь глинистого, песчаного и алевритового материала, что обуславливает появление разновидностей и переходных пород, а также других карбонатов (особенно доломита) и различных акцессорных минералов. Структура кристаллическая (от крупнозернистой до микрозернистой), скрытокристаллическая, оолитовая и др. Текстура массивная (неориентированная) слоистая, пятнистая, часто пористая. В зависимости от пористости и других текстурных и структурных признаков сложения пород иногда очень плотное, что определяет многие показатели физических свойств и возможность применения этих пород. Некоторые известняки, особенно обогащенные кремнистым материалом, обладают высокой прочностью. Сопротивление сжатию составляет от 10 до 700 кг/см². Известняки в земной коре залегают чаще всего в виде пластов или пластообразных залежей, реже в виде линзообразных скоплений, иногда в виде натеков, сталактитов и других образований. Наблюдается много разновидностей известняков в зависимости от минерального состава примесей, структурных, текстурных и других признаков. При наличии значительных примесей песчаного материала наблюдается переход от известняков до песчаных известняков, известняковых песчаников и песчаников. При наличии примеси глинистого материала отмечается переход от известняков глинистых (глины до 20 %) к известковистым мергелям (глины до 30 %), мергелям (глины до 50 %), мергелям глинистым (глины до 70 %), глинам мергелистым (глины до 90 %). Наличие примеси доломита приводит к возникновению переходных разновидностей от чистых известняков к известнякам доломитизированным и доломитам. Подобные же переходные разновидности наблюдаются при

наличии примесей кремнистого материала (окремнелые и кремнистые известняки), который заметно увеличивает прочность известняков. Особую разновидность известняков представляют оолитовые известняки, образованные мелкими овальными или сферическими оолитами, которые сцементированы карбонатным цементом. Прочность этой разновидности известняков невелика и не превышает 150–200 кг/см². Наблюдаются разновидности известняков, которые после образования сильно изменены последующими преобразованиями, обладают различными физическими свойствами и, возможно, являются породами органогенного или смешанного происхождения, но определенно оценить условия их образования невозможно (криптогенные известняки). Выделяются такие обломочные известняки, состоящие из окатанных карбонатных зерен. По генезису являются типичными осадочными образованиями, формирующимися в прибрежных участках морей и озер, чем и обусловлено значительное содержание примесей обломочного материала. Формы залегания характерные для осадочных образований — пласты, пластообразные, реже линзообразные залежи. В известняках часто наблюдается трещиноватость и значительная пористость, вследствие чего в них иногда содержатся такие полезные ископаемые как нефть, горючие газы, подземные воды (в том числе лечебные и столовые минеральные воды). Известняки широко используются для различных целей и, прежде всего, для строительства. Прочие разновидности применяются как бутовый и дорожно-строительный материал, иногда как облицовочный камень, как сырье для производства извести, цемента, при производстве сахара, как флюс в металлургии, иногда как поделочный материал, изредка как стеновой материал при возведении малоэтажных зданий.

Туф известковый. Цвет серый, белый, розовый, бурый. Минеральный состав — порода сложена чистым кальцитом, изредка с примесью других карбонатов. Структура мелко- и микрозернистая. Текстура пористая, изредка массивная и пятнистая. Прочность туфа невелика (сопротивление раздавливанию обычно до 100 кг/см²), но иногда наблюдаются разновидности с прочностью, достигающей 800 кг/см² (гора Машук на Северном Кавказе). В природе залегают в виде небольших скоплений неправильной формы. Образуются при выпадении кальцита из раствора в местах выхода на поверхность подземных вод, обогащенных карбонатом кальция. Аналогичны по минеральному составу и условиям образования сталактиты, сталагмиты и столбы, формирующиеся в

пустотах земной коры, но в отличие от туфов они характеризуются плотным сложением. Используются известковые туфы в качестве декоративного материала.

Мергель. Цвет серый, желтый, коричневый, бурый, красный и др. В минеральном составе примерно равное значение имеют кальцит и глинистые минералы. По своему составу мергель представляет породу переходную от известняка к глине. Структура микрозернистая скрытокристаллическая. Структура неориентированная, реже пятнистая и слоистая. Механическая прочность незначительна и заметно уменьшается при увеличении содержания глинистого материала. Размокает в воде. Формы залегания и условия образования те же, что и у известняков. Как строительный камень, мергель практического значения не имеет. Широко используются как ценное сырье для изготовления различных качественных цементов (портланд-цемент, роман-цемент и др.). Некоторые мергели (Новороссийск, Донбасс, Харьковская область) представляют собой природную шихту для изготовления цемента, не требующую никаких добавок.

Доломит. Цвет желтый, белый, серый, розовый, черный, иногда зеленоватый, часто пятнистый. Главной составной частью (до 95–98 %) является минерал доломит. Обычно всегда содержит примесь кальцита. Часто наблюдаются переходы от доломитов к известнякам при увеличении содержания кальцита. Как примеси наблюдаются гипс, ангидрит, изредка сидерит, галит, кварц, халцедон, глинистые минералы. Структура микро- и мелкозернистая, реже средне- и крупнозернистая. Текстура неориентированная, микрослоистая, брекчиевидная, пористая. Породы обладают высокой прочностью, особенно при наличии кремнистого материала. Иногда сопротивление раздавливанию превышает 1000 кг/см^2 . Условия образования доломитов и некоторых местах остаются неясными, но в большинстве случаев это типичные осадочные химические образования, которые в природе тесно связаны с известняками, сульфатными и галоидными образованиями. Они залегают в виде пластов, пластообразных залежей и линз. Очень сходны с известняками, но обычно обладают большей плотностью, шероховатым изломом поверхности, подвергающейся разрушению, нередко покрыты рыхлой беловатой массой (доломитовая мука). В природе распространены значительно меньше, чем известняки. Доломиты применяются иногда как строительный материал — бутовый камень, щебень, облицовочный и

поделочный материал. Особенно велико их значение как флюсов в металлургии и сырье для изготовления огнеупоров, используемых для футеровки мартеновских печей.

Магнезит. Цвет белый, желтоватый, серый. Состоит из минерала того же названия. Всегда содержит примеси железистых (сидерит) и марганцевых (родохрозит) карбонатов. Присутствуют также окислы железа и другие минералы. Структура микрозернистая, редко среднезернистая. Текстура массивная, пятнистая. В строении пластов часто наблюдается раковистый и землистый излом. Порода обладает значительной прочностью. Образуется при разрушении магнезиальных силикатов и при преобразовании известняков. (Значительная часть этих пород образуется при магматических и метаморфических процессах). Залегают в виде пластов, обычно среди более мощных залежей доломитов и сидеритов. Применяется как высокоогнеупорный материал, вяжущее вещество в керамической, химической промышленности, для производства каучука, бумаги, сахара, в фармацевтической промышленности.

Сидерит. Цвет серый, бурый, зеленоватый. Состоит из минерала того же названия. Всегда содержит примесь магнезита, родохрозита, лимонита и других минералов. Структура скрытокристаллическая, зернистая, оолитовая, волокнистая и др. Текстура массивная, слоистая, пятнистая, скорлуповатая и др. Сложение пород довольно плотное, некоторые разновидности обладают прочностью, превосходящей прочность известняка и доломитов. Залегание в виде пластов и линзообразных залежей. Часто образуются при магматических и метаморфических процессах и тогда залежи имеют неправильную форму. Может использоваться как обычный строительный материал, но чаще применяются как руда для получения железа.

2.3.2.2 Кремнистые породы. Кремнистые породы распространены значительно меньше, чем карбонатные. Вместе с тем в сочетании с другими (прежде всего карбонатными и глинистыми) они составляют значительные части земной коры. Иногда применяется термин «силициты», относящиеся и к породам органогенного происхождения. Эти породы также используются для различных целей. Иногда бывает трудно распознать, являются ли некоторые кремнистые породы чисто химическими образованиями или смешанными (биохимическими), поскольку почти всегда в них присутствуют, хотя бы в небольших количествах, органические остатки, сложенные кремнистым материалом. Наиболее

распространенными среди кремнистых пород являются опока, трепел, гейзерит. Иногда к этой группе относятся и яшмы, но учитывая тот факт, что встречающиеся в природе яшмы несут на себя следы глубоких преобразований, в этом курсе они будут рассмотрены среди метаморфических пород.

Опока. Цвет палевый, серый, темно-серый, иногда черный. Порода состоит из опала (скрытокристаллического кремнистого вещества). Как примеси содержатся глинистые минералы, кварц, полевые шпаты, глауконит, а также кремнистые остатки микроорганизмов. Структура скрытокристаллическая. Текстура неориентированная, иногда пятнистая. Порода иногда довольно плотная (при обогащении кремнеземом), сравнительно слабая, пористая, крошится руками, легкая (объемный вес 1,1–1,8 г/см³). Характерен раковистый, шершавый, иногда занозистый излом. Часто наблюдается обогащение глинистым веществам и переход опок в глины. Образуются в мелководных морских бассейнах (возможно, как биохимическое образование). Залегают в виде мощных пластов и пластообразующих залежей. В трещиноватых и крупнопористых породах в некоторых районах содержатся большие запасы подземных вод. Могут использоваться как добавки при изготовлении вяжущих веществ.

Трепел. Цвет белый, светло-серый, желтоватый, красноватый, черный. Порода состоит из скрытокристаллического кремнезема в виде опала и (частично) халцедона. Обычно в породе содержатся глинистый материал, зерна кварца, полевого шпата, глауконита, изредка встречаются кремнистые остатки микроорганизмов. Структура скрытокристаллическая. Текстура неориентированная, пятнистая. Сложение обычно рыхлое — порода оставляет следы на пальцах подобно мелу, сильно пористая (объемный вес 0,4–0,8 г/см³). Образуется в мелководных морских бассейнах, возможно биохимическим путем. Залегает в виде пластов и пластообразных залежей. Применяется в качестве гидравлической добавки к известковым и цементным растворам, для изготовления огнеупорного кирпича, как тепло- и звукоизолятор, как поглотитель, наполнитель, при изготовлении взрывчатых веществ, как шлифовальный и полировочный материал.

Гейзерит. Цвет белый, светло-русый, розовый, пестроокрашенный. Состоит полностью из кремнистого материала в виде опала, частично халцедона. Структура скрытокристаллическая. Текстура неориентированная, пятнистая, изредка слоистая. Сложение плотное,

реже пористое. Порода обладает значительной прочностью, реже пористая и слабо сцементированная. Залегаёт в виде натечных ферм, иногда почковидных и гроздевидных. Образуется в результате выпадения кремнезема пересыщенных растворов (обычно в горячих источниках — гейзерах). Используется изредка (плотные разновидности) в качестве поделочного материала.

2.5.2.2.3 Сульфатные породы. Распространены в природе довольно широко и обычно встречаются совместно с карбонатными и галоидными породами. Иногда образуют мощные пласты, линзообразные или неправильной формы залежи на значительной территории. Имеют важное значение для строительного и других видов производства.

Гипс. Цвет белый, серый, розовый, красный, изредка встречаются темные и даже черные разновидности. Состоит из минерала того же названия. Почти всегда содержат примесь ангидрита, доломита, галоидов, окислов и сульфидов железа, а также довольно часто глинистого, алевроитового и песчаного материала. Структура мелкозернистая, реже средне- и крупнозернистая. Изредка в виде небольших скоплений встречаются хорошо ограненные кристаллы ромбовидной формы или их сростки. Текстура массивная, пятнистая, иногда волокнистая. Сложение плотное. Порода мягкая, чертится ногтем, как и минерал гипс. Залегаёт в виде пластов, иногда значительной мощности и пластообразных залежей. Наиболее распространенной является мелкозернистая разновидность, часто белого цвета (алебастр), реже встречается волокнистый гипс розового цвета (селенит). Образуется как продукт химического осаждения в мелководных засоленных бассейнах. Практическое применение весьма разнообразное. Гипс используется как добавка при изготовлении цемента, штукатурки, для лепных работ (алебастр), для удобрений, в химической промышленности, в медицине, в скульптуре, для различных поделок и т.д.

Ангидрит. Цвет серый, реже белый, темно-серый, голубоватый. Состоит из минерала ангидрита. По форме залеганий, условиям образования, примесям, структуре и текстуре весьма близок к гипсу. Отличается от гипса заметно большей твердостью и прочностью. Используется значительно меньше, чем гипс — как добавка к вяжущим, в химической промышленности. Вблизи поверхности земли распространён незначительно, поскольку под воздействием подземных и поверхностных вод легко преобразуется в гипс.

2.5.2.2.4 Каолинитовые породы. В природе встречаются крайне редко, но имеют важное практическое значение. Обычно формируются в областях распространения кислых и средних магматических и некоторых метаморфических пород, как продукты преобразования полевых шпатов (первичные каолины), либо образуются как обломочные породы (пелиты) в результате переноса и осаждения первичных каолинов (вторичные каолины). Вторичные каолины обычно более чистые и однородные по составу.

Каолин. Цвет белый, желтоватый, светло-серый. Порода полностью состоит из минерала каолинита (вторичный каолин), иногда содержит примеси в виде песчинок, состоящих из кварца, полевых шпатов, слюд, мелких обломков магматических пород (первичный каолин). Структура неориентированная, реже пятнистая. большей частью рыхлого сложения, но иногда довольно плотные, всегда жирные на ощупь. В природе залегают в виде гнезд или плащеобразных залежей (первичные каолины), либо в виде линз, гнезд, пластов изменчивой мощности (вторичные каолины). При этом первичные каолины связаны постепенными переходами с исходными магматическими породами, а вторичные с песчаными и песчано-глинистыми породами. Условия образования каолинов, как указывалось выше, могут быть различными. Каолины используются в самых разнообразных целях — для изготовления огнеупорных изделий, фарфора, фаянса, в бумажном, алюминиевом, резиновом, косметическом, химическом, мыловаренном, производствах, при изготовлении карандашей, красок и т.д.

2.5.2.2.5 Глауконитовые породы. Также характеризуются ограниченным распространением. В чистом виде встречаются редко и в небольших скоплениях. Обычно предоставляют собой песчаные, глинистые и известковые породы, содержащие минералы глауконит, иногда в значительных количествах. Исключительно редко содержание глауконита достигает 70–80 % породы. Часто связаны постепенными переходами с кремнистыми породами (опоками), песчаниками и глинами. Ввиду преобладания в породах минерала глауконита все они имеют зеленую окраску различной интенсивности, часто с бурыми пятнами. Структурные и текстурные признаки определяются главным образом признаками пород, с которыми они связаны (пески, глины, кремнистые и известковые породы). Минерал глауконит содержится в виде зерен круглой или овальной формы, реже в виде сплошных скрытокристалли-

ческих масс. Часто глауконитовые породы содержат опал и халцедон в виде цемента, конкреции фосфоритов или фосфатный цемент, а также остатки микроорганизмов, сложенные каменистым веществом. Для глауконитовых пород иногда используется устаревший термин глауконититы. Образуются они в значительных количествах обычно в прибрежных участках морей. Применяются эти породы для смягчения жестких вод как поглотитель (пермутит), для изготовления удобрений, красок и других целей.

2.5.2.3 Органогенные породы. Органогенные породы, как и химические, существенно различаются по химическому, а следовательно, и минеральному составу. Существенное отличие от химических заключается в том, что они состоят из остатков организмов, имеющих определенный минеральный состав. Эти породы широко распространены и имеют огромное народнохозяйственное значение. Среди органогенных пород важнейшими являются разновидности, образованные остатками организмов карбонатного, кремнистого состава и органическим веществом. При оценке карбонатных и кремнистых пород важно знать, остатки каких именно организмов участвовали в формировании пород. В незначительных количествах встречаются органогенные породы, в составе которых преобладают органические остатки, состоящие из фосфатных минералов, обычно они являются примесями в кремнистых и карбонатных породах.

2.5.2.3.1 Карбонатные породы. Среди органогенных пород являются наиболее распространенными и иногда наблюдаются в виде огромных скоплений большой мощности (многие сотни метров), распространенных на обширных территориях (десятки и сотни тысяч квадратных километров). Они находят широкое применение в народном хозяйстве.

Органогенные карбонатные породы отличаются от химических тем, что основную часть их составляют отчетливо заметные раковины или их обломки, сцементированные карбонатным материалом, обычно с примесью глинистого и кремнистого материала. В редких случаях, когда содержание цемента преобладает (базальный цемент), раковины или их обломки мелкие, а вся порода в значительной мере перекристаллизована, эти породы по внешнему виду сходны с химическими и распознаются только при наблюдении под микроскопом.

Мел. Цвет белый, иногда с желтоватым или сероватым оттенком. Частые разновидности почти полностью сложены кальцитом. Значи-

тельную (иногда большую) часть составляют раковинки различных микроорганизмов в сотые доли миллиметра, сцементированные микрозернистым и скрытокристаллическим кальцитом. В качестве примеси присутствуют различные глинистые минералы, содержание которых иногда бывает значительно и порода переходит в меловой мергель. Иногда наблюдается существенная примесь кремнистого материала и породы переходят в кремнистый мел и кремнистые мелкопородные мергели. Кроме того встречаются отдельные зерна глауконита, а также песчаный и алевритовый материал. Структура скрытокристаллическая и микрозернистая. Сложение породы обычно плотное. Прочность породы невелика и резко уменьшается при насыщении мела водой. Исключения составляют разновидности, обогащенные кремнистым материалом, имеющие иногда значительную прочность. Мел образовался в мелководных морских бассейнах при накоплении и цементации мельчайших раковин микроорганизмов (кокколитов, фораминифер) и является осадочным образованием органогенного происхождения. Он залегает в виде пластов и пластообразных залежей огромной мощности. Распространение мела в земной коре довольно ограничено. В трещиноватых породах иногда бывают сосредоточены большие количества подземных вод. Мел имеет широкое применение как сырье для производства извести, соды, углекислоты, как писчий мел и для других целей.

Известняк органогенный. Цвет разнообразный, преимущественно серый, белый, желтый, бурый и др. Главнейшим минералом, входящим в состав этой породы, является кальцит. Часто присутствуют другие карбонаты (доломит, сидерит), а также глинистые минералы, песчаный и алевритовый материал, пирит, гидроокислы железа и др. Иногда в качестве цемента присутствует кремнистый материал. Структура биоморфная (т.е. состоящая из целых раковин), детритовая (состоящая из обломков раковин). Размеры обломков (и целых раковин) различные — от крупных до мельчайших. При перекристаллизации наблюдаются зернистые кристаллические структуры. Текстура неориентированная (беспорядочная), слоистая, волнисто-слоистая, пятнистая, часто наблюдается высокая пористость, особенно у известняков, образованных крупными обломками. Цементирующей массой является карбонатный материал, иногда с примесью глинистого или кремнистого. Текстура цемента контактовая и поровая, изредка базальная. Большая часть органогенных известняков обладает невысокой прочностью, но некоторые (перекри-

сталлизованные и окремненные) характеризуются значительной прочностью — сопротивление раздавливанию достигает 1200 кг/см^2 и более. Существует много разновидностей этих известняков, характеризующихся определенным составом остатков организма. Наиболее распространенными являются породы, сложенные крупными обломками раковин (известняки-ракушечники), а также коралловые, мшанковые, нуммулитовые, фузулиновые и другие известняки (по названию организмов, раковинами которых они сложены). Иногда используется как поделочный материал.

2.5.2.3.2 Кремнистые породы. Эти породы распространены значительно меньше, чем карбонатные, однако иногда встречаются в виде мощных залежей, занимающих значительные пространства. Основную часть их составляют минеральные части организмов, состоящие из кремнистого вещества, сцементированные кремнистым материалом, часто с примесью глинистого. Наиболее распространенными среди этих пород являются породы, образованные остатками диатомовых водорослей, губок и радиолярий. По внешнему облику некоторые кремнистые породы сходны с мелом. Кремнистые породы также широко используются в народном хозяйстве.

Диатомит. Цвет белый, желтоватый. Порода состоит в основном из мельчайших ($0,03\text{--}0,15 \text{ мм}$) панцирей диатомовых водорослей кремнистого состава, слабо сцементированных кремнистым и глинистым материалом. Иногда присутствуют спикулы (иглолки) губок, раковинки радиолярий, фораминифер, зерна кварца, полевых шпатов, глауконита. Структура скрытокристаллическая, микрозернистая. Текстура органогенная, иногда микрослоистая, пятнистая. Порода характеризуется высокой пористостью, вследствие чего обладает малым объемным весом ($0,4\text{--}0,9 \text{ г/см}^3$) — не тонет в воде. Частицы породы легко отделяются от общей массы и оставляют след на пальцах, как мел. Изредка встречаются более плотные разновидности. Эти породы образуются при осаждении панцирей водорослей в прибрежных участках морей и пресных озер и залегают в виде пластов и пластообразных залежей. Диатомит широко используется как изоляционный материал (для звуко- и термоизоляции), в качестве гидравлических добавок в известковых и цементных растворах, для оборудования фильтров, как абразивный (шлифовальный и полировочный) материал, при производстве взрывчатых веществ, как поглотитель и для других целей.

Спонголит. Цвет белый, серый, изредка зеленоватый. Порода состоит преимущественно из спикул (игolocек) губок, образованных кремнистым материалом (халцедоном и опалом), сцементированных опалом. В породе иногда содержится примесь глинистого, алевроитового материала, а также кальцита, глауконита, радиолярий и др. Структура скрытокристаллическая. Текстура массивная, иногда пористая. Спонголиты характеризуются значительно более плотным сложением, чем диатомиты. Плотные разности обладают раковистым или шершавым изломом. Образуются эти породы в прибрежных участках морей при накоплении, уплотнении и частичном преобразовании спикул губок образуют пластообразные или неправильные по форме залежи. Применение этих пород крайне ограничено — изредка они используются как добавка в цемент и как абразивный материал.

Радиолярит. Цвет белый, серый, желтый, красный. Минеральный состав, структурные и текстурные признаки, физические свойства весьма сходны со спонголитами и трепелами. Основной составной частью этих пород являются раковинки радиолярий, а в качестве примесей — глинистый, фосфатный, алевроитовый материал, а также спикулы кремневых губок, панцири диатомовых водорослей и др. Радиоляриты в природе связаны постепенным переходом с диатомитами, трепелами и метаморфическими породами — яшмами.

Распространение этих пород довольно ограничено. Используются они крайне редко для тех же целей, что и спонголиты.

2.5.2.3.3 Каустобиолиты. Породы этой группы коренным образом отличаются от всех остальных горных пород. Являясь органогенными по генезису, они состоят главным образом из органического вещества, а минеральные частицы являются примесями. Каустобиолиты имеют огромное народнохозяйственное значение, являясь главным топливно-энергетическим сырьем. Породы этой группы (за редким исключением) не могут использоваться как строительные материалы, либо как основания сооружений, поэтому рассматриваются здесь очень кратко для общего ознакомления с этими необычными породами. Условия образования каустобиолитов во многом еще не полностью выяснены, поэтому здесь схематически излагаются положения, которые являются наиболее распространенными. Местами накопления растительного материала, из которого формировались каустобиолиты угольного ряда, являлись прибрежные участки морей и озер и межгорные низменности. Здесь проис-

ходило накопление растительного материала (угли), либо органических илов из растительного и животного материала (горючие сланцы). Затем имели место преобразования, в которых выделяют два этапа. На первом (торфяном) происходят биохимические изменения при недостаточном доступе кислорода из воздуха и формировании торфяников. На втором этапе (после покрытия торфа минеральными осадками) происходит химическое преобразование органического вещества (углефикация) под воздействием давления и температуры, вследствие чего увеличивается содержание углерода, уменьшается содержание и других элементов. Так можно схематически построить генетический ряд: торф — бурый уголь — каменный уголь — антрацит. Совокупность особенностей преобразования органического вещества на первом и втором этапах создает разнообразие углей. Нефть и горючие газы являются продуктами преобразования главным образом органического вещества животных и низших растений.

Торф. Цвет бурый и черный. Порода состоит из слабо преобразованных остатков растений (стебельков, корней, листьев и т.д.) и всегда содержит примесь глинистого, алевритового и песчаного материала. Структура биогенная (органогенная) с хорошо сохранившимися структурными элементами растений. Текстура слоистая, иногда волнисто-слоистая и беспорядочная. Сложение весьма пористое. Залегаet торф в виде пластов и пластообразных залежей. Применяется в качестве горючего, удобрения и для других целей.

Бурый уголь. Цвет бурый до черного. Состоит из органических растительных остатков с большим содержанием глинистого, а иногда также алевритового материала. Структура органогенная, часто с хорошо сохранившимися структурными элементами растений. Текстура рыхлая, землистая, иногда плотная беспорядочная и неяснослоистая. Залегаet в виде пластов, пластообразных и линзообразных залежей. Используется в качестве горючего, в газогенераторных установках, для производства смазочных веществ.

Каменный уголь. Цвет черный. Порода состоит из преобразованного органического вещества. Содержание углерода составляет от 75–79 % (в зависимости от разновидностей углей, включая антрациты). В качестве примесей присутствует глинистое вещество, алевритовый и песчаный материал, образующие золу при сжигании углей. Залегаet в виде пластов, пластообразных и линзообразных залежей, иногда значительной мощно-

сти. Применяется как энергетическое топливо, в металлургии для производства кокса, для изготовления смазочных веществ, в химической промышленности, парфюмерном производстве и для других целей.

Горючий сланец. Цвет светло-желтый, коричневый, черный. Органическое вещество представлено остатками пыли растений, водорослей и бесструктурного органического материала. Характеризуется повышением содержания водорода (7–8 %), летучих веществ (30–70 %), а также углеводородов битумного ряда. Существенную часть породы (свыше 50 %) составляет минеральная масса, образующая золу при сгорании. Она представлена глинистым, карбонатным и песчаным материалом. Структура органогенная, частично зернистая и бесструктурная масса. Текстура массивная, иногда слоистая. Порода иногда довольно прочная, твердая, с занозистым и раковистым изломом. Легко воспламеняется и горит коптящим пламенем, издавая специфический битуминозный запах. Залегаet в виде линзообразных и пластообразных залежей; образуется как и другие каустобиолиты угольного ряда. Используется как энергетическое топливо, а также как сырье для получения жидкого топлива, смол, смазочных веществ, в химической промышленности.

Озокерит (от греческого «озо» — издаю запах и «керос» — воск). Цвет бурый и черный. Состоит полностью из смеси углеводородов, преимущественно парафинового ряда. Пластичная или твердая бесструктурная масса с раковистым изломом. Является продуктом окисления и частичного преобразования нефти. Используется как великолепный изоляционный (кислото- и щелочеупорный) материал, электроизолятор, в медицине и химической промышленности.

Асфальт (от греческого «асфальтос» — смола). Цвет темно-бурый, черный. Состоит в основном из углеводородов асфальтового ряда (65–86 %), подвергшихся значительному окислению. Содержит примесь песчаного, алевритового, глинистого, иногда карбонатного материала. При увеличении содержания песчаного, алевритового и глинистого материала порода называется «кир» (персидское название). Порода представляет собой вязкую массу с землистым (особенно кир) или раковистым изломом. Применяется, главным образом, как дорожно-строительный материал, а также как изоляционный материал в электротехнической и каучуковой промышленности.

В таблице 2.6 приведена краткая характеристик химических и органогенных пород.

Таблица 2.6

Описание химических и органических пород

№ п/п	Название породы	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
ХИМИЧЕСКИЕ ПОРОДЫ							
1. Карбонатные							
1	Известняк	серый, белый, желтый, бурый, красный, черный, пестрый	кальцит, песчаный и алевритовый материал, доломит, глинистые минералы	кристаллическая, скрытокристаллическая, оолитовая и др.	массивная, слоистая, пятнистая, пористая	высокая прочность у кристаллических и обогащенных кремнистым материалом	бутовый и дорожно-строительный материал, производство извести, цемента, флюсы в металлургии, производство сахара, поделочный, облицовочный, изредка стеновой материал
2	Туф известковый	серый, белый, розовый, бурый	кальцит, изредка другие карбонаты	мелкозернистая, микрозернистая	пористая, массивная, пятнистая	невысокая прочность, исключительно редки прочные разновидности	декоративный материал
3	Мергель	серый, желтый, коричневый, бурый	кальцит, глинистые минералы	микрозернистая, скрытокристаллическая	неориентированная, пятнистая, слоистая	прочность незначительная, размокает в воде	важнейшее сырье для производства цемента

Продолжение табл. 2.6

№ п/п	Название породы	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
4	Доломит	желтый, белый, серый, розовый, черный, изредка зеленоватый, часто пятнистый	доломит, кальцит, гипс, ангидрит, изредка кварц, глинистые минералы, сидерит	микро- и мелкозернистая, реже средне- и крупнозернистая	неориентированная, микрослоистая, пятнистая, брекчиевидная, пористая	высокая прочность	бутовый камень, щебень, важнейший флюс в металлургии, огнеупорный, облицовочный и поделочный материал
5	Магнезит	белый, желтый, серый	магнезит, сидерит, окислы железа	микрозернистая, редко среднезернистая	массивная, пятнистая	прочность значительная, обладает раковистым и землистым изломом	высокоогнеупорный материал, применяется при производстве вяжущих веществ, керамики, каучука, бумаги, сахара, в химической и фармацевтической промышленности
6	Сидерит	серый, бурый, зеленоватый	сидерит, магнезит, лимонит и др.	скрытокристаллическая, зернистая, оолитовая, волокнистая	массивная, слоистая, пятнистая, скорлуповатая	значительная прочность, иногда превосходящая известняк и доломит	рядовой строительный камень, руда для получения железа

Продолжение табл. 2.6

№ п/п	Название породы	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
2. Кремнистые							
7	Опока	пале- вый, се- рый, темно- серый, иногда черный	опал, глинистые минералы, кварц, полевые шпаты, глауко- нит, кремнистые остатки микро- организмов	скрытокри- сталлическая	неориенти- рованная, иногда пят- нистая	при обогаще- нии кремнезе- мом прочная, обогащенная глиной, слабая — крошится руками	добавка при из- готовлении вя- жущих веществ
8	Трепел	белый, светло- серый, желтый, красно- ватый, черный	опал, халцедон, глинистые ми- нералы, кварц, полевые шпаты, глауконит, из- редка кремни- стые остатки микрооргани- зов	скрытокри- сталлическая	неориенти- рованная, пятнистая, мелкопорис- тая	слабо остав- ляет следы на пальцах по- добно мелу, легкая (объем- ный вес 0,4– 0,8 г/см ³)	добавка при из- готовлении це- ментов, огне- упорного кирпи- ча, тепло- и зву- коизолятор, по- глотитель, на- полнитель, изго- товление взрыв- чатых веществ, полировальный и шлифовальный материал
9	Гейзерит	белый, светло- серый, розовый, пестрый	опал, частично халцедон	скрытокри- сталлический	неориенти- рованная, пятнистая, изредка слоистая	порода проч- ная, реже по- ристая и сла- босцементиро- ванная	плотные разности являются поде- лочным материа- лом

Продолжение табл. 2.6

№ п/п	Название породы	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
3. Сульфатные							
10	Гипс	белый, серый, розовый, красный, изредка темный и даже черный	гипс, ангидрит, доломит, галоиды, окислы и сульфиды железа, глинистый, алевроитовый и песчаный материал	мелкозернистая, реже средне- и крупнозернистая	массивная, пятнистая, изредка воллокнистая	порода мягкая чертится ногтем	добавка к цементам и штукатурке, лепные работы, скульптура, удобрения, медицина, химическая промышленность, поделочный материал
11	Ангидрит	серый, белый, темно-серый, голубоватый	ангидрит, гипс, доломит, галоиды, окислы и сульфиды железа, глинистый, алевроитовые, песчаный материал	мелкозернистая, реже средне- и крупнозернистая	массивная, пятнистая	довольно прочная, значительно тверже гипса	добавка к вяжущим, химическая промышленность
4. Каолиновые							
12	Каолин	белый, желтоватый, светло-серый	каолинит, кварц, полевые шпаты, слюды	скрытокристаллическая (пелитовая)	неориентированная, пятнистая	обычно рыхлая, изредка плотная, жирная на ощупь	изготовление огнеупоров, фарфора, фаянса, бумаги, карандашей, красок, производство алюминия, резины, мыла, косметики, химия

Продолжение табл. 2.6

№ п/п	Название породы	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
5. Глауконитовые							
13	Глауконитовая порода	зеленый различных оттенков	глауконит, смеси глинистого, алевритового, песчаного, карбонатного, фосфатного, кремнистого материала	зернистая, скрытокристаллическая, псаммитовая и др.	массивная, пятнистая, слоистая	прочность различная, зависит от примесей — от рыхлых до плотных разновидностей	умягчитель жестких вод, поглотитель, удобрение, сырье для изготовления красок
ОРГАНОГЕННЫЕ ПОРОДЫ							
1. Карбонатные							
14	Мел	белый, иногда с желтоватым и сероватым оттенком	кальцит, глинистые минералы, опал, халцедон, песчаный материал	скрытокристаллическая, микрозернистая	органогенная, иногда массивная пятнистая	слабая порода (размокает в воде), окремненные разновидности прочные	используется для производства извести, соды, углекислоты, как писчий мел и др. целей
15	Известняк органогенный	серый, белый, желтый, бурый и др.	кальцит (в виде раковин и их обломков), доломит, сидерит, глинистый, песчаный, алевритовый материал, кремнистые минералы	биоморфная, детритовая	неориентированная, слоистая, волнисто-слоистая, пятнистая	небольшой прочности, окремненные и перекристаллизованные разновидности значительной прочности	производство извести, цемента, сахара; как бутовый и дорожно-строительный, стеновой и облицовочный камень, в химической промышленности, как флюс в металлургии

Продолжение табл. 2.6

№ п/п	Название породы	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
2. Кремнистые							
16	Диатомит	белый, желтоватый	халцедон и опал в виде мельчайших панцирей водорослей, глинистые материалы	скрытокристаллическая, микрозернистая	органогенная, иногда микрослоистая, пятнистая	порода слабая, оставляет след как мел, иногда более прочная	звуко- теплоизоляция, добавка в цемент, шлифовальный, полировальный материал, изготовление взрывчатых веществ, поглотитель и др.
17	Спонголит	белый, серый, зеленоватый	халцедон, опал в виде спикул губок, примеси — глинистый, алевритовый материал, зерна глауконита, кальцита	скрытокристаллическая, иногда биоморфная	массивная, пористая	порода довольно плотная с шершавым или раковистым изломом, реже слабая	изредка используется как добавка в цемент, абразивный материал
18	Радиолярит	белый, серый, желтый, красный	халцедон, опал, в виде раковин радиолярий, примесь — глинистый, фосфатный и алевритовый материал, спикулы губок и панцири водорослей	скрытокристаллическая	массивная, пористая	порода плотная с шершавым раковистым изломом	изредка используется как добавка к цементу, шлифовальный и полировальный материал

Продолжение табл. 2.6

№ п/п	Название породы	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
3. Каустобиолиты							
19	Торф	бурый, черный	органическое вещество в виде остатков растений (стебельков, корней,, листьев), примесь — глинистый, алевритовый, песчаный материал	биогенная с хорошо сохранившимися структурными элементами растений	слоистая, волнисто-слоистая, беспорядочная	сложение весьма рыхлое	как топливо, удобрение и др.
20	Бурый уголь	бурый до черного	органическое растительное вещество с незначительной примесью глинистого и песчаного материала	органогенная, часто с хорошо сохранившимися элементами структуры растений	рыхлая, землистая, реже плотная, беспорядочная, неясно-слоистая	рыхлая масса, реже сравнительно плотная	как горючее в газогенераторных установках, для производства смазочных материалов
21	Каменный уголь	черный	преобразованное органическое вещество с незначительной примесью глинистого, алевритового и песчаного материала	кристаллическая зернистая	землистая, беспорядочная, изредка слоистая	плотная, довольно твердая масса (особенно антрацит)	энергетическое топливо, производства кокса, смазочных веществ, в парфюмерной и других отраслях промышленности

Продолжение табл. 2.6

№ п/п	Название породы	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
22	Горючий сланец	светло-желтый, коричневый, черный	органическое вещество, а также глинистый, карбонатный и песчаный материал	органогенная, частично бесструктурная масса	массивная, слоистая	довольно прочная, твердая с занозистым и раковистым изломом	энергетическое топливо, сырье для получения жидкого топлива, смол, смазочных веществ, в химической промышленности
23	Озокерит	бурый, черный	смесь углеводов преимущественно парафинового ряда	бесструктурная, пластичная масса	бесструктурная, пластичная масса	пластичная или твердая масса с раковистым изломом	кислото- и щелочеупорный материал, электроизолятор, в медицине и химической промышленности
24	Асфальт	темно-бурый	смесь углеводов асфальтового ряда, примеси — песчаный, алевроитовый, глинистый, иногда карбонатный материал	бесструктурная масса	бесструктурная масса	вязкая масса с землистым или раковистым изломом	дорожно-строительный, изоляционный материал, в каучуковой и электротехнической промышленности

2.5.3 Метаморфические породы. Эти породы являются чрезвычайно важными с точки зрения использования их в строительстве и для других целей. Большинство метаморфических пород характеризуется кристаллическим строением и отличаются высокой прочностью. В связи с тем, что этот тип пород образуется вследствие изменения и преобразования других (исходных) пород при определенных метаморфических процессах, для оценки отдельных метаморфических пород необходимо учитывать минеральный состав исходных пород и тип метаморфизма, при котором эти породы формируются. Следует иметь в виду, что в некоторых случаях преобразования пород при метаморфизме бывают столь глубоки, что бывает затруднительно или даже невозможно установить состав исходных пород. Метаморфические породы имеют огромное значение, так как кроме возможности непосредственного их использования они содержат в себе крупнейшие месторождения металлов (железа, никеля, меди, олова, вольфрама, молибдена и др.) и неметаллических (асбест, слюда, тальк, магнезит, корунд и др.) полезных ископаемых.

Некоторые метаморфические породы имеют важное практическое значение, но весьма ограниченное распространение (например, наждаки, являющиеся одним из важнейших абразивных материалов). Другие (например, эклогиты) распространены широко, но залегают на больших глубинах, вследствие чего как строительный материал не используются. Ограничено также использование дробленных (катаклазированных) пород ввиду их незначительной прочности (лимониты, тектонические брекчии и др.).

Ниже приводится описание наиболее распространенных и широко используемых метаморфических пород.

Гнейс (предположительно от славянского «гноец» — гнилой, разрушенный). Цвет серый, светло-серый, белый, красный, часто пестрый. Минеральный состав гнейсов близок к составу гранитов. Главными минералами являются полевые шпаты, кварц, в меньших количествах содержится биотит, мусковит, а также амфиболы, пироксены, гранаты и некоторые акцессорные минералы (циркон, апатит, рудные минералы). Структура кристаллическая. Текстура гнейсовая — слоистая и сланцеватая, иногда микрослоистая, очень редко массивная. При высоком содержании слюд и тонкой сланцеватости гнейсы весьма слабые и как строительный камень не могут применяться. Гнейсы с повышенным содержанием кварца бывают довольно прочные — сопротивление раздав-

ливанию составляет 1200–2000 кг/см². Гнейсы образуются при региональном метаморфизме кислых и средних магматических пород (гранитов, диоритов, сиенитов) или осадочных песчано-глинистых пород, возникающих при разрушении этих магматических пород и имеющих аналогичный минеральный состав. В большинстве случаев гнейсы залегают в виде пластов, но иногда в виде залежей (массивов) неправильной формы. К крупным массивам гнейсов иногда приурочены жилы пегматитов, содержащие крупные месторождения слюд, графита. Выделяются различные разновидности гнейсов. По исходным породам выделяются — парагнейсы, возникающие из осадочных пород и ортогнейсы — возникающие при метаморфизме магматических пород. Среди последних выделяются гранитогнейсы, сиенито-гнейсы и др., отличающиеся соотношением главных породообразующих минералов. При детальном разделении этих пород иногда выделяются гнейсы по характерному породообразующему минералу (сланцевые, графитовые, гранатовые и другие гнейсы). Гнейсы являются одной из наиболее распространенных метаморфических пород. Прочные разновидности гнейсов могут использоваться как бутовый строительный материал, обладающие четкой сланцеватостью с плитчатой отдельностью используются как брусчатка для мостовой, а также при облицовке набережных, каналов и т.д. Кроме того, некоторые гнейсы являются источником высокоогнеупорного сырья (дистеновые гнейсы), абразивного материала (гранатовые гнейсы), графита и др.

Сланцы кристаллические. Цвет серый, белый, зеленый, черный. Минеральный состав разнообразный — в породах основную часть составляют слюды, тальк, хлорит, роговая обманка, а также глинистые минералы, иногда кварц. Структура кристаллическая. Текстура слоистая, тонкослоистая, сланцевая, обусловленная ориентированным расположением чешуек слюд и других минералов. Породы легко раскалываются на тонкие пластины. Прочность этих пород незначительна. Образуются при региональном метаморфизме в результате преобразования различных магматических и песчано-глинистых осадочных пород. Залегают в виде пластов и пластообразных залежей. Выделяются многочисленные разновидности по преобладающим минералам — слюдяные, филлиты (близки к слюдяным, но микрозернистые), хлоритовые, тальковые, роговообманковые и другие. Среди кристаллических сланцев иногда наблюдаются крупные скопления различных полезных иско-

паемых — талька, графита, огнеупорного сырья и др. Применение кристаллических сланцев сравнительно ограничено ввиду их малой прочности. Слюдяные сланцы с толстосланцеватой отдельностью могут использоваться как строительный камень. Филлиты и некоторые другие тонкослоистые слюдяные сланцы легко разрабатываются на плиты и пластины с гладкими поверхностями и используются для перекрытий и как кровельный материал — так называемые кровельные (шиферные) сланцы. Тальковые сланцы перерабатываются на тальк, а также используются как футеровки доменных печей. Роговообманковые сланцы, отличающиеся значительной прочностью, твердостью и вязкостью, являются хорошим материалом для изготовления щебня.

Кварцит. Цвет серый, синеватый, белый, розовый, красный. Состав почти полностью из кварца. Иногда кварцевые зерна сцементированы кремнистым цементом. Изредка присутствуют зерна полевых шпатов, слюд, окислы железа. Структура кристаллическая, преимущественно мелкозернистая. Текстура массивная, изредка полосчатая. Породы весьма прочные, у некоторых разновидностей сопротивление раздавливанию достигают до 3000 кг/см^2 и более, очень устойчивы по отношению к химическим процессам разрушения. Залегают в виде пластов, пластообразных и неправильных по форме залежей. Образуются при региональном и контактном метаморфизме кислых магматических пород и песчаных осадочных пород кварцевого состава. Иногда к кварцитам относят и плотные осадочные породы, состоящие из зерен кварца, сцементированных опаловым или халцедоновым цементом. Выделяются разновидности кварцитов с высоким содержанием окислов железа (магнетита и гематита) — железистые кварциты, характеризующиеся микрослоистой структурой, характер текстуры обусловлен чередованием тончайших (1–2 мм) слоев кварца и железистых минералов. Ввиду высокой прочности кварциты трудно разрабатываются и сравнительно редко используются как строительный камень. Используются на поды мартеновских печей, для производства высокоогнеупорного динасового кирпича, иногда как флюс, облицовочный материал. Издавна и широко используется как жерновой камень, а также в шаровых мельницах обогатительных установок. Железистые кварциты при значительном (более 45 %) содержании железа используются в качестве руды для получения железа.

Роговик. Цвет серый, белый, черный. Минеральный состав разно-

образный. В роговиках преобладают кварц, полевые шпаты, иногда существенное значение имеют гранаты, слюды и другие минералы. Структура мелкозернистая, обычно характеризующаяся зазубренной формой зерен (роговиковая). Текстура неориентированная (массивная), изредка пятнистая. Порода характеризуется высокими показателями прочности, твердости и вязкости. Образуется при контактовом метаморфизме в результате глубоких изменений глинистых осадочных пород в зоне их контактов с крупными магматическими массивами. Залегают чаще всего в виде плащеобразных залежей, окаймляющих магматические массивы. Иногда выделяются разновидности со значительным содержанием некоторых алюмосиликатов. Используется как строительный камень, а также в шаровых мельницах и изредка как жерновой камень и поделочный материал.

Мрамор (от греческого «мармарос»). Цвет белый, серый, розовый, красный, желтый, зеленый, изредка черный, часто пестрой окраски. Главнейшим минералом породы является кальцит. В большинстве случаев присутствуют примеси в виде зерен доломита, полевых шпатов, пироксенов, амфиболов, слюд, сульфидов и окислов железа и др. В меньших количествах в природе распространены мраморы, у которых главным породообразующим минералом является доломит. Структура кристаллическая от мелко- до крупнозернистой. Очертания зерен кальцита обычно изометричные с ровными краями, реже (скульптурный мрамор) с сильно извилистыми краями. Текстура массивная, пятнистая, слоистая, реже сланцеватая. Порода характеризуется средней прочностью — сопротивление раздавливанию колеблется в пределах 350–1500 кг/см². Легко обрабатывается металлическими резцами. Довольно устойчивы к физическим и химическим процессам разрушения. Образуются в результате преобразования осадочных карбонатных пород (известняков и доломитов) при контактовом и региональном метаморфизме. Залегают в виде пластов, пластообразных и неправильной формы залежей. Существует много разновидностей мрамора. Выделяются мраморы по минеральному составу и структуре (доломитовые, обломочные, руинные — поверхность покрыта как бы рисунками развалин), географическими названиями, выделяющими мраморы с особенно характерными признаками (каррарский — белый и мелкозернистый с массивной текстурой, паросский — белый с желтоватым оттенком, кампанский — бледно-желтоватый, испещренный белыми пятнами и др.). Мраморы

являются одними из наиболее широко используемых метаморфических пород, что обусловлено их широким распространением, легкостью обработки, достаточной прочностью, красивым обликом. Мраморы используются как облицовочный декоративный материал, обычный строительный материал, низкие сорта мраморов используются для производства извести, в электротехнике и т.д. Особую ценность представляют однородные мелкозернистые мраморы белого или белого желтоватым оттенком цветов (каррарский, паросский, уральский), используемые для изготовления скульптур (скульптурный или статуйный мрамор) и различных поделок, а также пестроокрашенные, пятнистые мраморы (кампанский, крымский, уральский, алтайский, саянский и др.), используемые для поделок, облицовок, как декоративный материал, для различных изделий.

Яшма. Цвет серый, зеленый, желтый, бурый, красный, коричневый, часто пестрый. Минеральный состав отличается резким преобладанием окисла кремния. При этом основная масса представлена скрытокристаллическим кварцем, опалом и халцедоном. В большинстве случаев присутствуют соединения железа, марганца и др., обуславливающих окраску. Иногда наблюдаются сильно измененные кремнистые остатки микроорганизмов (преимущественно радиолярий), чешуйки слюд, глинистых минералов. Структура скрытокристаллическая. Текстура массивная, пятнистая, редко слоистая. Яшмы являются очень прочными, твердыми и вязкими породами с раковистым изломом и острыми режущими краями. Устойчивы в химически активных средах. Условия образования яшмы окончательно не выяснены. Совершенно очевидно, что эти породы возникают в результате преобразования кремнистых осадочных пород (химического и органического происхождения) под воздействием, по видимому, контактового и регионального метаморфизма при преобладающем проявлении температурного фактора. Многие авторы к яшмам относят только те породы, которые сложены скрытокристаллическим кварцем и незначительным количеством халцедона и опала. Те же породы, в которых сохраняются кремнистые остатки микроорганизмов, называют яшмовидными породами. Следует иметь в виду, что иногда ошибочно к яшмам относятся некоторые роговики и даже кварциты, которые по внешнему виду напоминают яшму. Залегают яшмы в виде пластов, линзообразных и неправильной формы залежей. Выделяют многочисленные разновидности яшм по цвету (зеленые,

сургучные и т.д.), по текстуре (пятнистые, слоистые, копейчатые — с округлыми скоплениями халцедона и др.), по географическим названиям, в которых распространены яшмы с определенными признаками (орские, алтайские и др.). Яшмы используются очень широко. Из однородных по составу яшм изготавливают лабораторную посуду, трущиеся детали машин (например, шаровые мельницы). Яшмы используются как ценный поделочный материал, особенно ценным являются так называемые пейзажные яшмы, на полированных поверхностях которых наблюдаются рисунки, напоминающие пейзажи. Используются они в ювелирном производстве, а иногда как абразивный материал.

Серпентинит (от латинского «серпенс» — змея). Синоним — змеевик. Цвет зеленый, темно-зеленый до черного, обычно пятнистый или полосчатый, чем и обусловлено название. Состоит преимущественно из минерала серпентина, возникающего при преобразовании оливина или амфиболов. В качестве примесей содержится оливин, роговая обманка, пироксен, окислы железа. Структура кристаллическая (кристаллы волокнистые и игольчатые). Текстура слоистая или пятнистая. Порода сравнительно мягкая, очень стойкая по отношению к воздействию температуры, кислот, щелочей, плохой проводник электричества. Образуется при контактом метаморфизме, вследствие изменения ультраосновных магматических пород. Залегают обычно в виде залежей неправильной формы. Выделяются многочисленные разновидности в зависимости от примесей первичных неизменных минералов (оливиновые, пироксенитовые и др.). К серпентинитовым массивам приурочены крупнейшие месторождения асбеста. Плотные, красиво окрашенные разновидности используются как облицовочный и поделочный материал (шкатулки, письменные приборы и т.д.). Является сырьем для изготовления высокоогнеупорного кирпича. Является источником для получения чистого асбеста (от греческого «асбестос» — неугасимый, неразрушимый), используемого для изготовления огнестойких асбестовых тканей, асборезиновых и асбоцементных изделий (труб, шифера, картона, бумаги и др.), характеризующихся высокой кислото- и щелочеупорностью и огнестойкостью, а также теплоизоляционными свойствами.

Скарн (от шведского «скарн», означающего породу, расположенную на контакте с рудой). Цвет серый, темно-серый, зеленоватый, иногда пестрый (пятнистый). Преобладающими минералами являются пироксены, гранаты. Иногда существенное значение имеют железистые

соединения (окислы, силикаты, карбонаты и др.). Структура кристаллическая. Текстура массивная, пятнистая. Породы большей частью характеризуются значительной прочностью. Образуются при контактном метаморфизме, вследствие воздействия гидротермальных растворов или пневматолитов на карбонатные породы (известняки, реже доломиты), а также магматические породы вблизи контактов с карбонатными. В природе скарны обычно распространены в виде залежей по исходным породам, из которых они образовались (карбонатные или магматические). Со скарнами иногда связаны месторождения железных, медных, вольфрамовых и других руд (Урал, Восточная Сибирь) и тогда сами скарны являются рудой. Прочные разновидности этих пород могут использоваться как обычные строительные материалы.

Грейзен (от немецкого «грейзен» — расщепление). Цвет серый, светло-серый, розовый, иногда пестрый (мелкопятнистый). Среди минералов преобладают кварц и светлая (обычно литиевая) слюда. Кроме того, иногда существенное значение имеют полевые шпаты, тальк. Встречаются топаз, хлорит, флюорит, а также соединения вольфрама, молибдена, олова и др. Структура кристаллическая. Текстура массивная, иногда пятнистая. Часто обладает значительной прочностью. Образуется при контактовом метаморфизме в результате преобразования кислых магматических пород (преимущественно гранитов). По-видимому, образуются также из песчано-глинистых осадочных пород. Распространены в природе преимущественно в виде залежей неправильной формы. Иногда выделяются разновидности по особенностям минерального состава (полевошпатовые, слюдяные, тальковые, топазовые). К грейzenам приурочены месторождения олова, молибдена, вольфрама, а также изредка топаза. Может использоваться как обычный строительный камень и абразивный материал (обогащенный топазом).

В таблице 2.7 приведена краткая характеристика метаморфических пород.

Таблица 2.7

Описание метаморфических пород

№ п/п	Название пород	Исходные породы	Тип метаморфизма	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
1	Гнейс	кислые и средние магматические, песчано-глинистые осадочные	региональный	серый, светло-серый, белый, красный, пестрый	полевые шпаты, кварц, биотит, мусковит, а также амфиболы, пироксены, гранаты и др.	кристаллическая	гнейсовая (слоистая и сланцеватая), микро-слоистая, редко массивная	довольно слабый, легко раскалывается на пластины, при повышенном содержании кварца довольно прочный	бутовый камень, брусчатка мостовых, облицовка набережных, огнеупоры, абразивный материал
2	Сланцы кристаллические	различные магматические и песчано-глинистые осадочные	региональный	серый, белый, зеленый, черный	слюды, тальк, хлорит, роговая обманка, а также глинистые минералы, кварц и др.	кристаллическая	слоистая, тонкослоистая, сланцевая	прочность незначительная, легко раскалывается на тонкие пластины	изредка как строительный камень, кровельный материал, производство талька, огнеупоров

Продолжение табл. 2.7

№ п/п	Название пород	Исходные породы	Тип метаморфизма	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
3	Кварцит	кислые, магматические и песчаные осадочные породы	региональный, контактовый	серый, синеватый, белый, розовый, красный	кварц, опал, халцедон, а также полевые шпаты, слюды, окислы железа	кристаллическая (преимущественно мелкозернистая)	массивная, изредка полосчатая	весьма прочный	футеровка подов мартеновских печей, жерновой камень, огнеупоры, флюс, облицовочный материал, детали механизмов (шаровые мельницы); железистые кварциты — руда для получения железа
4	Роговик	глинистые, осадочные породы	контактовый	серый, белый, черный	кварц, полевые шпаты, иногда гранаты, слюды	мелкозернистая (роговиковая)	массивная, изредка пятнистая	высокая прочность, твердость и вязкость	строительный камень, детали механизмов, изредка жерновой камень, поделочный материал

Продолжение табл. 2.7

№ п/п	Название пород	Исходные породы	Тип метаморфизма	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
5	Мрамор	известняки, доломиты	контактовый, региональный	белый, серый, розовый, красный, желтый, зеленый, черный, пестрый	кальцит, доломит, пририси — полевые шпаты, амфиболы, слюды, окислы железа и др.	кристаллическая (от мелко- до крупнозернистой)	массивная, пятнистая, слоистая, редко сланцевая	прочность средняя, легко обрабатываются металлическими резцами	облицовочный, декоративный, поделочный материал, скульптурный камень, изготовление щитов в электротехнике, извести
6	Яшма	кремнистые осадочные породы	региональный, контактовый	серый, зеленый, желтый, бурый, красный, коричневый, пестрый	кварц, опал, халцедон, также соединения железа, марганца, слюды, глинистые минералы	скрытокристаллическая	массивная, пятнистая, редко слоистая	очень прочная, твердая, вязкая с раковистым изломом	изготовление лабораторной посуды, трущихся деталей и механизмов, абразивный и поделочный материал, ювелирные изделия

Продолжение табл. 2.7

№ п/п	Название пород	Исходные породы	Тип метаморфизма	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
7	Серпентинит	ультраосновные магматические породы	контактовый	зеленый, темно-зеленый до черного, обычно пятнистый или полосчатый	серпентин, а также оливин, пироксен, роговая обманка, окислы железа	кристаллическая	слоистая, пятнистая	сравнительно мягкая, стойкая по отношению к высокой температуре, кислотам, щелочам	облицовочный и поделочный материал, высокоогнеупорный кирпич, получение асбеста, используемого для получения огнестойких асбестовых тканей, асбесторезиновых и асбестоцементных изделий, термоизолятор
8	Скарн	известняки и доломиты, магматические породы	контактовый	серый, темно-серый, зеленоватый, пестрый	пироксены, гранаты, а также карбонаты, железистые минералы	кристаллическая	массивная, пятнистая	прочность пород значительная	строительный материал, иногда руда на железо, медь, вольфрам и др.

Продолжение табл. 2.7

№ п/п	Название пород	Исходные породы	Тип метаморфизма	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Физические свойства	Применение
9	Грейзен	кислые магматические, песчано-глинистые осадочные породы	контактовый	серый, светло-серый, розоватый, пестрый	кварц, слюда, а также полевые шпаты, тальк, иногда топаз, хлорит, флюорит и др.	кристаллическая	массивная, пятнистая	иногда характеризуется значительной прочностью	строительный материал, абразивный материал, иногда руда на олово, молибден, вольфрам

3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ ЗЕМЛИ

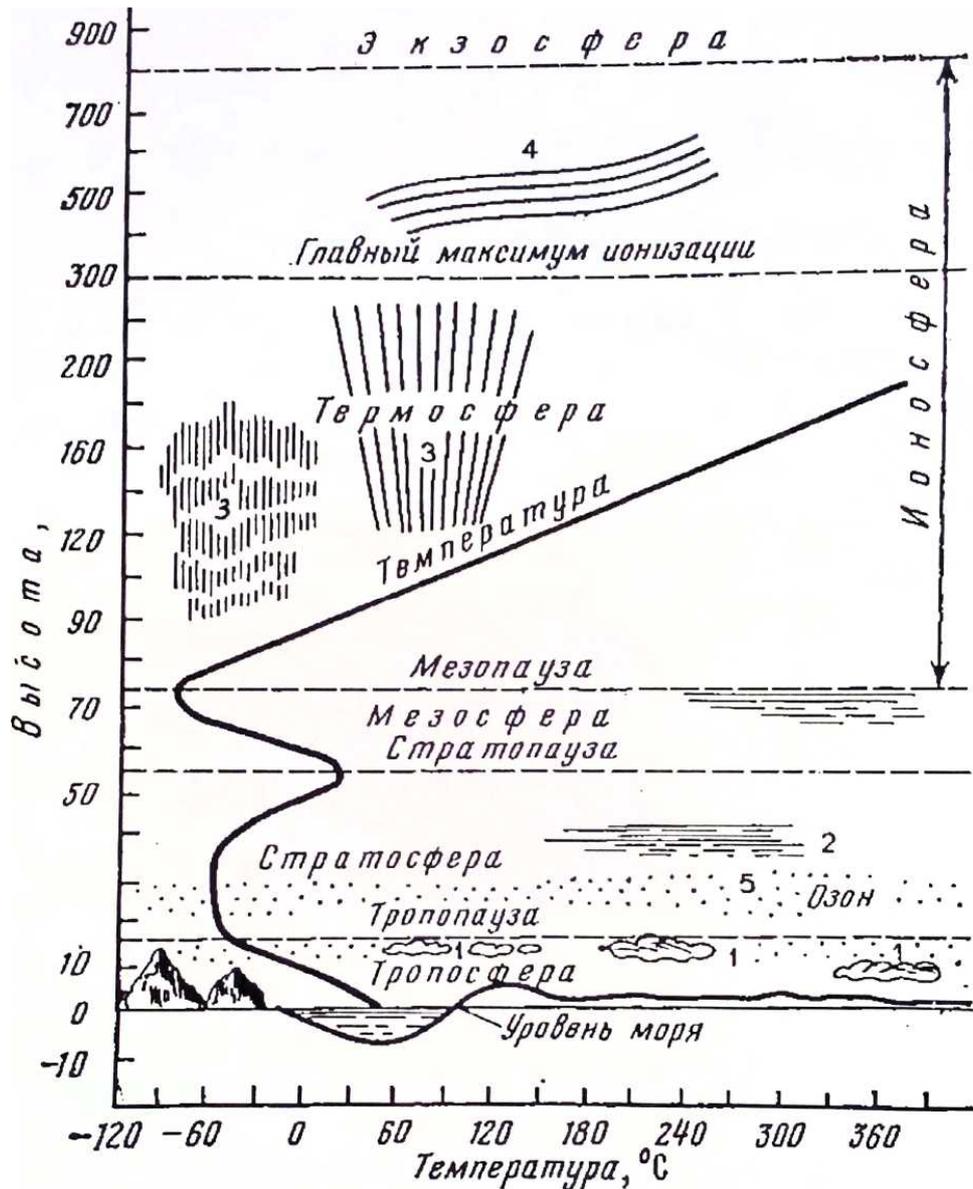
3.1 Форма, размеры и строение земли

Для реальной оценки различных процессов, протекающих в земной коре, необходимо иметь хотя бы общие представления о строении Земли. Не рассматривая гипотезы образования Земли, как космического тела, которые излагаются в учебниках по общей геологии, здесь приводятся общие сведения о форме, размерах и строении Земли. Форма Земли в настоящее время определена с достаточной достоверностью как на основании наземных измерений, так и в результате наблюдений с искусственных спутников Земли. Форма Земли ограничена поверхностью ее твердой оболочки, т.е. поверхностью материков и дном Мирового океана. Эта форма чрезвычайно сложна, поскольку она включает в себя поверхности гор, плоскогорий, низменностей, морских впадин и т.д. Фигура Земли, которую принято обычно называть «земной шар», заметно отличается от сферической. Установлено, что радиус Земли в направлении полюсов составляет примерно 6356715 м, а в направлении экватора он равен, примерно 6398169 м. При этом экваториальный радиус от центра до экваториальной точки на долготе 15° больше радиуса до точки на долготе 105° на 212 м. Таким образом приближенно форма Земли сходна с трехосным эллипсоидом вращения. Однако, ввиду наличия на поверхности твердой оболочки Земли возвышенностей и впадин, истинная форма Земли значительно отличается от формы эллипсоида и имеет вид математически неправильной фигуры, присущей только Земле. Эта форма имеет название геоид. Определение точных форм и размеров относится к 40-50 годам XX столетия и принадлежит русскому ученому А. А. Изотову. Вычисленная им фигура Земли названа «Геоидом Красовского» и представляет собой двухосный эллипсоид. При построении геоида за поверхность его принимают поверхность воды в океанах в состоянии полного покоя, которую мысленно продолжают под материками таким образом, чтобы она везде была перпендикулярна направления силы тяжести. От этой поверхности при геодезических работах определяются все абсолютные высоты и глубины. Общая площадь поверхности Земли составляет 510 млн. км² из которых на долю океанов приходится 361 млн. км² (70,8 %), а на сушу — 149 млн. км² (29,2 %). Средняя высота материков равна примерно 850 м над уровнем океана, а средняя глубина около 3800 м ниже уровня океана. При этом наибольшая высота материков — гора Эверест (Джомолунгма) в Гималаях достигает 8848 м, а мак-

симальная глубина океанов — Марианская впадина в Тихом океане у Марианских островов — 11031 м. Таким образом, максимальная разница высот поверхности Земли составляет 19870 м.

В схематическом виде строение Земли можно представить в виде некоторых оболочек, близких по форме к концентрическим.

Всю Землю окружает газовая оболочка (атмосфера), образующая сплошную массу мощностью в сотни километров (рис. 3.2).



1, 2 — облака: 1 — конвекционные и перистые, 2 — перламутровые;
3, 4 — полярные сияния в атмосфере: 3 — нижние, 4 — верхние; 5 — слой наибольшей концентрации озона

Рисунок 3.2 — Схема вертикального строения атмосферы

Следующая оболочка — водная (гидросфера), не имеющая сплошного распространения и характеризуется изменяющейся мощностью в зависимости от глубины океанов и морей. Особую оболочку представляет среда живого вещества (биосфера). Ее мощность резко изменяется в различных участках и эта среда не представляет обособленной оболочки, а проникает в атмосферу, гидросферу и твердую оболочку Земли. Перечисленные оболочки не являются предметом изучения в этом курсе, но следует иметь в виду, что они оказывают существенное влияние на твердую оболочку (земную кору). Далее следует твердая оболочка — земная кора (литосфера) также с заметно изменяющейся мощностью. В областях океанического дна ее мощность составляет всего 5–6 км, а в области континентов она достигает 60–70 км. Эта оболочка сложена различными горными породами.

Следующая оболочка (мантия) распространена на глубину до 2900 км и фиксируется по резкому скачкообразному уменьшению продольных сейсмических волн. Вещество, слагающее мантию, по-видимому, находится в стекловатом (некристаллическом) потенциально жидком состоянии, что обусловлено сочетанием высоких температур и давлений. Далее идет ядро, разделяющееся по некоторым показателям на внешнее (до глубины 5100 км) и внутреннее — до центра Земли. Предположительно считается, что вещество ядра находится в особом состоянии, близком к пластичному, неизвестному при обычных температурах и давлениях. Расположение различных оболочек Земли показано на рисунке 3.1.

Особое значение для целей экологии имеет оценка твердой оболочки — земной коры, являющейся предметом геологических наблюдений. Считается, что существует два типа земной коры — гранитная оболочка, распространенная в пределах материков и базальтовая, преобладающая в пределах океанов и распространенная под гранитной в области развития материков.

Поверхность, отделяющая земную кору от мантии, называется поверхностью Мохоровичича (по имени югославского геофизика А. Мохоровичича), а поверхность, разделяющая гранитную и базальтовую оболочки — поверхность Конрада (по имени австрийского ученого В. Конрада).

Земная кора материкового типа характеризуется довольно сложным строением. В верхней части располагается слоистая оболочка — стратосфера (от греческого «стратум» — пласт, слой), образованная, главным образом, осадочными горными породами. Ниже располагается гранитная

оболочка, сложенная преимущественно кислыми и средними магматическими, а также метаморфическими породами (в основном гранитами и гнейсами), составляющими кристаллический фундамент слоистой оболочки Земли. Далее следует базальтовая оболочка, залегающая на подкоровом веществе — верхней мантии Земли. Земная кора океанического типа отличается отсутствием гранитной оболочки и маломощной базальтовой оболочкой.

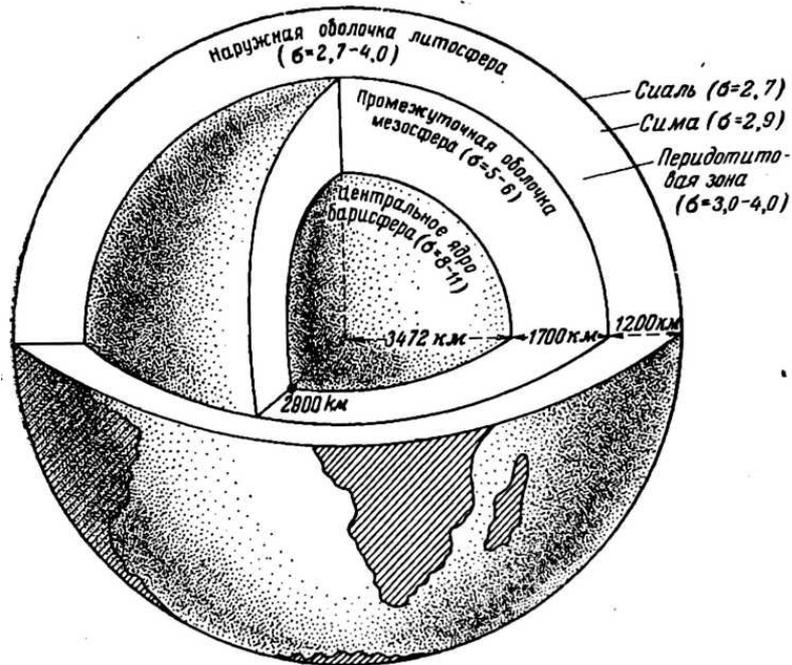


Рисунок 3.1 — Строение Земли

Поверхность земной коры характеризуется значительными неровностями. Это в равной мере относится к поверхности литосферы в пределах океанов и континентов. Довольно детальными исследованиями последних лет установлено, что в областях океанического дна существуют огромные подводные хребты и впадины. Особый интерес представляют рифтовые зоны — протяженные участки земной коры, где наблюдаются разрывы, по которым вещество глубоких горизонтов Земли поднимается к поверхности и смещает (раздвигает) отдельные участки земной коры, пододвигая океаническую земную кору под континентальную. На этом основано принимаемое ныне большинством исследователей предположение о смещении отдельных материков, формировании горных цепей при смятии земной коры и другие явления. Можно считать определенно установленным, что земная кора не является сплошной, а разбита на от-

дельные блоки, образованные разрывами. Каждый такой блок представляет собой крупный структурный элемент земной коры, характеризующийся своими особенностями развития за длительную геологическую историю существования этих структурных элементов.

3.2 Строение земной коры.

При рассмотрении поверхности земной коры в вертикальной плоскости выделяют участки, характеризующиеся резкими различиями как с точки зрения географических особенностей, так и с точки зрения условий практической деятельности человека.

Самыми высокими являются хребты, представляющие собой линейно вытянутые и высоко приподнятые (более 1000 м над уровнем моря) горные цепи с резкими перепадами высот. На поверхности Земли отмечены горные хребты, окаймляющие Тихий океан и протягивающиеся в направлении близком к меридиональному по американскому континенту (Кордильеры и Анды) и по тихоокеанскому побережью Азии и Австралии. Третий пояс протягивается в близком к широтному направлению — Альпийско-Гималайский. Ниже располагаются плоскогорья, представляющие собой приподнятые на высоту до 1000 м обширные, обычно холмистые участки суши. Низменности представляют собой равнинные участки суши с высотами, обычно не превышающие 200 м над уровнем моря. Ближайшими к материкам участками дна океанов являются зона шельфа (материковой отмели), которые представляют собой подводное продолжение континентов с небольшим уклоном в сторону океана. В этой зоне поверхность земной коры погружается на глубины порядка 200 м ниже уровня моря. Затем происходит заметное увеличение уклона, достигающее иногда десятков градусов. Эта зона называется материковым склоном, простирающимся до глубины 2–3 тыс. м ниже уровня моря. Далее следует ложе мирового океана (до глубины порядка 6000 м) и более глубокие океанические впадины (рис. 3.3).

Следует иметь в виду, что строение земной коры определяется преимущественно по косвенным признакам путем использования различных физических эффектов (силы тяжести, магнитных и упругих свойств пород, их электропроводности и др.). Физическое состояние вещества земной коры наблюдается при бурении скважин, максимальная глубина которых достигла на Кольском полуострове около 13 км.

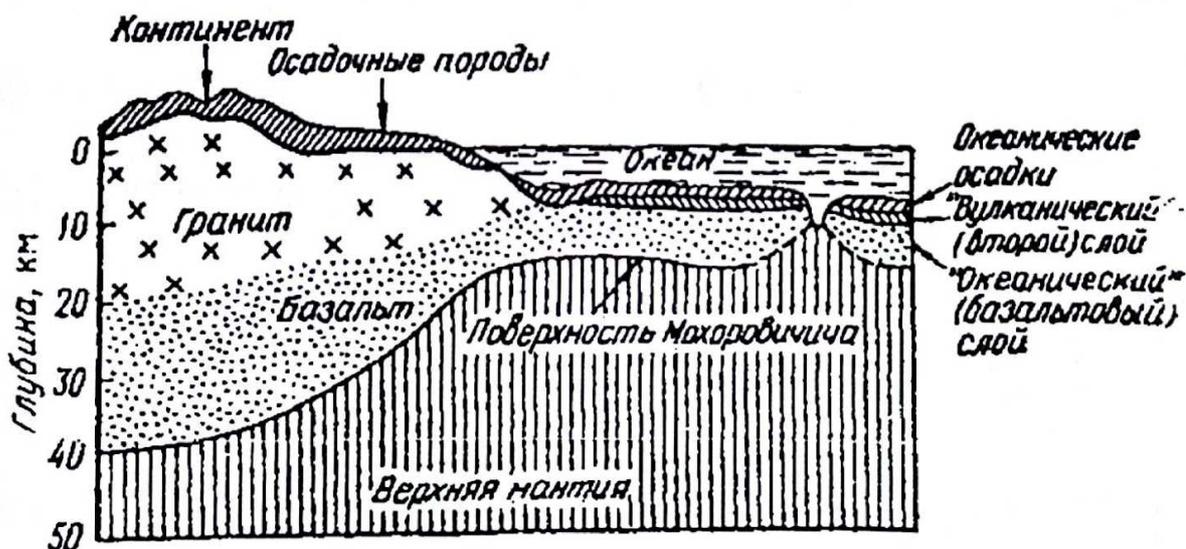


Рисунок 3.3 — Схема строения земной коры, континентов и океанов

Отклонение формы геоида или эллипсоида вращения невелико и достигает 1:298,3. Рассчитанная масса Земли составляет $5,976 \cdot 10^{21}$ т., а объем Земли — 1083000 млн. км³. Отсюда средняя плотность Земли равна 5,52 г/см³. Средняя плотность горных пород, слагающих земную кору, составляет около 2,7, колеблется от 2,5 да 2,9 г/см³. Из этого следует, что вещество Земли в глубоких горизонтах имеет значительно большую плотность. Подсчитано, что на глубине 2900 км плотность вещества достигает 5,5–5,7 г/см³, непосредственно ниже (во внешнем ядре) она скачкообразно возрастает до 9,5–10,0 г/см³, а в центре Земли, возможно превышает 12,5 г/см³.

С глубиной возрастает и давление. На глубине 1 км давление составляет 275 атм., у подошвы земной коры (около 50 км) оно увеличивается до 13000 атм., на границе мантии (2900 км) оно возрастает до 1,3–1,4 млн. атм., а в ядре достигает свыше 3 млн. атм.

Температурный режим Земли так же довольно изменчив. Источников внутренней теплоты Земли довольно много. К ним относятся радиоактивный распад, химические реакции, энергия кристаллизации, энергия тяготения, тепло от трения приливов, остаточное тепло формирования Земли как планеты и др. Значение отдельных источников оценивается по-разному, но главным источником внутреннего тепла Земли, несомненно, является радиоактивный распад. Изменение температуры в градусах Цельсия на единицу глубины называют *геотермическим градиентом*, а расстояние, на протяжении которого температура изменяется на 1 градус — *геотермической ступенью*. Средняя геотермическая ступень состав-

ляет около 33 м. Однако, в различных участках земной коры эта величина резко изменяется. Вблизи разломов в земной коре она уменьшается до 6,54 м (Мончетундра), а в других местах увеличивается до 148,2 м (Банана, штат Орегон). Вместе с тем повышение температуры с глубиной замедляется. Расчетами установлено, что на глубине около 400 км температура достигает порядка 1600°C, на глубине 2900 км — около 2500°C, а внутри ядра возможно около 5000°C, но не более 10000°C.

3.3 Краткая история развития Земли

История развития Земли условно может быть разделена на два этапа — планетарный (от возникновения Земли как космического тела во Вселенной до образования земной коры) и геологический (от появления земной коры до настоящего времени). Учитывая особенности курса здесь кратко будет рассмотрена геологическая история Земли, которая в узком понимании может быть оценена, как история земной коры, т.к. развитие других оболочек (гидросферы, атмосферы и др.) рассматривается другими науками. Раздел геологии, изучающий историю земной коры, называется исторической геологией. Для оценки времени образования отдельных участков земной коры, различных процессов и явлений используются два принципиально разных метода исчисления времени в геологии — относительное и абсолютное время. Абсолютное исчисление времени в геологии основано, главным образом, на исследовании процессов радиоактивного распада некоторых химических элементов. При этом измеряется в минералах количество продуктов радиоактивного распада и с учетом скорости этого процесса, которая известна и строго постоянна, определяется время образования минерала, выраженное абсолютными величинами отрезков времени. Определение относительного времени образования минералов и пород основано на сопоставлении их формирования по принципу «раньше» «позже». При этом исходят из того, что пласты пород, расположенные ниже, возникли раньше, а пласты, расположенные выше, возникли позже. В геологии относительное исчисление времени используется значительно чаще и схема деления отрезков времени разработана значительно детальнее. Принята единая международная схема деления времени — геохронологическая шкала (от греч. — «гео» — земля, «хронос» — время), разделяющая геологическую историю на определенные отрезки времени и стратиграфическая шкала (от греч. «стратос» — пласт), выделяющая комплексы отложений, сформировавшиеся за соответствующие отрезки

времени. Соотношение отрезков времени и комплексов отложений приводится в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Соотношение отрезков времени и комплексов отложений

Время	Отложение
Эра	Группа
Период	Система
Эпоха	Отдел
Век	Ярус
Время	Зона

Сопоставление абсолютных и относительных методов исчисления времени позволяет выделять в пределах земной коры участки, которые формировались в определенные отрезки времени. Для обозначения отрезков времени, а также комплексов пород, сформировавшихся в эти отрезки времени, приняты единые буквенные и используемые при различных графических построениях, в том числе при составлении геологических карт. Геохронологические и стратиграфические подразделения приводятся в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Геохронологические и стратиграфические подразделения

Эра (группа)	Период (система)	Эпоха (отдел)	Длительность периода млн. лет
Кайнозойская R_z	Антропоген Четвертичный Q	Голоцен (современный) Q Плей-Сто-цен- Поздняя (верхний) Q_3 Средняя (средний) Q_2 Ранняя (нижний) Q_1	1,0–2
	Неоген N	Плиоценовая (верхний) N_2 Миоценовая (нижний) N_1	25
	Палеоген P	Олигоцен (верхний) P_3 Эоценовая (средний) P_2 Палеоценовая (нижний) P_1	41
Мезозойская M_z	Мел K	Поздняя (верхний) K_2 Ранняя (нижний) K_1	70
	Юра J	Поздняя (верхний) J_3 Средняя (средний) J_2 Ранняя (нижний) J_1	55–58
	Триас T	Поздняя (верхний) T_3 Средняя (средний) T_2 Ранняя (нижний) T_1	40–45

Продолжение табл. 3.2

Эра (группа)	Период (система)	Эпоха (отдел)	Длительность периода млн. лет
Палеозойская P_z P_{z_2} поздняя	Пермь P	Поздняя (верхний) P_2 Ранняя (нижний) P_1	45–50
	Карбон C	Поздняя (верхний) C_3 Средняя (средний) C_2 Ранняя (нижний) C_1	65–70
	Девон D	Поздняя (верхний) D_3 Средняя (средний) D_2 Ранняя (нижний) D_1	50–70
P_{z_1} ранняя	Силур S	Поздняя (верхний) S_2 Ранняя (нижний) S_1	30–36
	Ордовик O	Поздняя (верхний) D_3 Средняя (средний) D_2 Ранняя (нижний) D_1	60–70
	Кембрий ϵ	Поздняя (верхний) ϵ_3 Средняя (средний) ϵ_2 Ранняя (нижний) ϵ_1	70–80
Протерозойская PR	Поздний PR_3 Средний PR_2	Венд V	110
		Рифей R	R_3 R_2 R_1
	Ранний PR_1		600
Архейская AR	Верхний AR_2 Нижний AR_1		700
			Более 1800

Название эр (групп) основано на сопоставление их возраста, а также характера органической жизни на Земле.

Архейская (приставка «арх» в греческом языке выражает степень превосходства) — древнейшая эра. Протерозойская (от греч. «протос» — простейшая и «зоон» — жизнь) — эра простейшей жизни. Палеозойская (от греч. «палео» — древний) — эра древней жизни. Мезозойская (от греч. «мезос» — средний) — эра средней жизни. Кайнозойская (от греч. «кайнос» — новый) — эра новой жизни. Таким образом, границы между эрами проводятся там, где наблюдаются значительные изменения облика органической жизни на Земле. Иногда эры (группы) называются сокращенно (напр. архей, палеозой и т. д.). Поскольку комплексы пород, относящиеся к архейской и протерозойской группам, сильно изменены по-

следующими процессами, а остатки органической жизни либо отсутствуют, либо плохо распознаются, более дробные деления (системы, отделы и т. д.) осуществляются для отдельных участков земной коры, поскольку сопоставление их для всей Земли в настоящее время невозможно.

Название периодов (систем) выделяются либо по месту, где впервые были установлены соответствующие комплексы пород, либо по каким-нибудь характерным признакам. Периоды (системы) также иногда называют сокращенно (в таблице обозначены в скобках). Кембрийский период назван по древнему названию полуострова Уэлс-Кембрия, Ордовикский — по названию древнего племени ордовиков, населяющих Англию. Силурийский — по названию племени силуров, живших в Уэльсе. Девонский период назван по графству Девоншир в Англии. Каменноугольный назван по широкому распространению среди отложений этого возраста в Европе залежей каменного угля. Пермский период назван по г. Пермь в Приуралье. Триасовый — по четкому делению отложений этого возраста в Западной Европе на три эпохи. Юрский период — по названию Юрских Альп на юго-востоке Франции и в Швейцарии. Меловой период назван по горной породе мел, которая широко распространена в отложениях этого возраста. Палеогеновый (от греч. «палео» — древний и «генеос» — рождение) — как более древняя (ранняя) часть третичного периода, включавшего себя палеогеновый и неогеновый подпериоды. Третичный период первоначально подразделялся на три эпохи. Неогеновый — более поздний подпериод третичного периода. Четвертичный период — по залеганию его отложений выше третичного. Иногда называется антропоген (от греч. «антропос» — человек и «генеос» — рождение) — время появления человека на Земле. Часто архейский и протерозойский комплексы обозначаются как «докембрий».

История развития земной коры определяется, главным образом, теми процессами, которые обусловлены эндогенными физико-геологическими факторами.

Развитие земной коры протекало неравномерно и отрезки времени со спокойным геотектоническим режимом чередовались с отрезками времени, когда наблюдалось интенсивное протекание складкообразовательных и других процессов, приводивших к резким, скачкообразным изменениям в земной коре.

За всю историю развития земной коры наблюдалось несколько этапов (фаз) складчатости, чередовавшихся со сравнительно спокойными отрезками развития земной коры.

Докембрийский этап складчатости является самым длительным и охватывает огромный отрезок от начала формирования земной коры до конца протерозойской эры.

Каледонский этап складчатости охватывает отрезок времени от середины кембрийского до конца силурийского периода. Назван по Каледонским горам в Шотландии.

Герцинский этап складчатости проявлялся со середины девонского до конца пермского периода. Назван по горной системе Герц, расположенной на границе между Германией и Францией.

Киммерийский этап складчатости протекал на протяжении от начала триасового до начала мелового периода. Названо по имени народности, населявшей северное Причерноморье. Киммерийский этап складчатости рассматривают как начальную фазу последующего альпийского этапа.

Альпийский этап складчатости охватывает отрезок времени от начала палеогенового периода до настоящего времени. Назван по горной системе Альпы в Западной Европе. Наблюдаются два пояса (зоны) альпийской складчатости. Средиземноморский пояс протягивается в направлении, близком к широтному и включает в себя восточные Карпаты, горный Крым, акваторию Черного моря, Большой Кавказ, Рионо-Куринскую депрессию (понижение), Малый Кавказ, южную часть акватории Каспийского моря, горную систему Балхаша, Копетдага, Туркмено-Таджикскую депрессию, Памиро-Гиссарскую складчатую систему. Тихоокеанский складчатый пояс протягивается в направлении, близком к меридиональному.

Следует иметь в виду, что некоторые участки земной коры подвергаются процессам складкообразования неоднократно в последующие фазы складчатости, поэтому иногда выделяются области складчатости в несколько иных границах. Кроме того необходимо знать, что рассмотренные этапы складчатости подразделяются на более мелкие фазы, охватывающие меньшие отрезки времени и разделенные между собой меньшими отрезками спокойного тектонического режима. Каждая такая подфаза складчатости обычно с различной интенсивностью проявлялась большей частью только на отдельных участках рассмотренных областей складчатости.

3.4 Основные структурные элементы земной коры

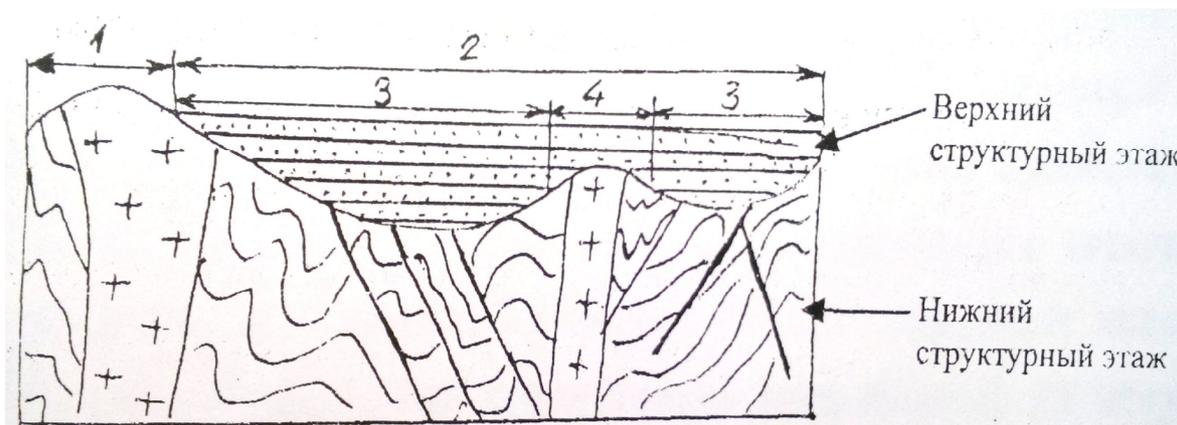
В результате длительного и сложного развития земная кора имеет сложное и неоднозначное строение. Особенности строения отдельных ее участков обусловлены историей их развития, особенностями проявления

тектонических процессов, формировавших эти участки земной коры. Наиболее крупными структурными элементами, обуславливающими строение земной коры, являются платформы и геосинклинали.

Платформами называются крупные структурные элементы земной коры, характеризующиеся значительной устойчивостью и после формирования подвергающиеся только колебательным движениям. Они состоят из жесткого складчатого основания и осадочного покрова (чехла). Складчатое основание платформ образовано в результате интенсивных процессов образования складок, разрывов, внедрения магматических расплавов. В связи с этим, основание платформ сложено сильно метаморфизованными породами и разнообразными магматическими породами, заполняющими разрывы в метаморфических комплексах. После формирования жесткого основания, платформы становились устойчивыми участками земной коры, которые не подвергались процессам складкообразования, а испытывали только колебательные движения. В связи с этим осадочный чехол платформ сложен почти горизонтально залегающими осадочными породами различного состава и возраста. В пределах платформ выделяются более мелкие структурные элементы. **Щиты** — такие приподнятые участки платформ, которые не испытывали значительных погружений при колебательных движениях и поэтому породы кристаллического основания выходят на дневную поверхность, либо прикрыты маломощными четвертичными отложениями. **Антеклизы** (поднятия) — такие участки платформ, где складчатое основание приподнято относительно окружающих участков и покрыто осадочным покровом незначительной мощности. **Синеклизы** (впадины) — участки платформ с опущенным складчатым основанием, в которых мощность осадочного чехла весьма значительна. Антеклизы иногда соединяются между собой вытянутыми поднятиями — валами, а синеклизы — вытянутыми опущенными зонами — прогибами. Выделяются и более мелкие структурные элементы платформ. Строение платформ иллюстрирует рисунок 3.4.

Геосинклиналями называются крупные подвижные участки земной коры, подвергающиеся интенсивным процессам складкообразования. В развитии геосинклиналей наблюдаются четыре последовательные стадии развития. На первой стадии происходит интенсивное накопление осадков. Под воздействием веса осадков на второй стадии происходит прогибание участков земной коры. На третьей стадии, вследствие прогибания, происходят разрывы в земной коре и внедрение в них магматических расплавов. На четвертой стадии, под воздействием магматических расплавов имеет

место интенсивное складкообразование, метаморфизация пород, поднятие участков земной коры и превращение ее в горно-складчатые системы. Вследствие такого процесса развития геосинклинальные области на последней стадии состоят из горных сооружений, обычно вытянутых в определенных направлениях, разделенных впадинами. По завершении цикла развития геосинклинальные области превращаются в жесткие устойчивые участки земной коры, как и платформы.



*1 — щит; 2 — плита; 3 — синеклиза; 4 — антеклиза
Рисунок 3.4 — Строение древних платформ*

Изложенный выше характер структурных элементов земной коры, естественно, является весьма схематичным.

Сведения о строении земной коры используются в региональной инженерной геологии при районировании территорий, поскольку общие инженерно-геологические условия в значительной мере определяются особенностями тектоники отдельных участков земной коры.

4 ВИДЫ ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Разнообразные процессы, протекающие в земной коре, приводящие к физическим и химическим преобразованиям горных пород, изменению строения земной коры, форм рельефа на ее поверхности носят название физико-геологических процессов. В зависимости от главных источников энергии, которыми обусловлено возникновение тех или иных процессов и явлений, все физико-геологические процессы разделяются на две группы: эндогенные и экзогенные (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Классификация инженерно-геологических процессов

Источник энергии	Форма проявления энергии	Инженерно-геологический процесс
Экзогенный	Гравитационные смещения	Обвалы. Осыпи. Оползни. Лавины
	Действие поверхностных вод	Подмыв берегов (абразия). Сели (грязекаменные потоки). Б олоота (заболачивание) Карст. Суффозия. Пльивуны. Оползни
	Развевание и выветривание	Эоловые процессы. Выветривание горных пород.
Эндогенный	Сейсмические явления. Тектонические явления	Землетрясения. Современные колебательные движения
	Инженерная деятельность человека	Процессы, связанные с осушением, промышленное и гражданское строительство

Эндогенные физико-геологические процессы — это такие процессы в земной коре, которые обусловлены, главным образом, проявлением внутренней энергии Земли. К ним относятся тектонические движения, магматические и метаморфические процессы, сейсмические явления.

Экзогенные физико-геологические процессы протекают под влиянием, главным образом, внешних космических факторов, главным среди которых является тепловая энергия Солнца. К ним относятся процессы выветривания, геологическая деятельность морей и озер, геологическая деятельность текучих поверхностных вод, подземных вод, ледников, атмосферы (ветра), геологическая деятельность органического мира.

Следует иметь в виду, что эти процессы имеют противоположную направленность. Эндогенные физико-геологические процессы приводят к возникновению и развитию неровностей на поверхности Земли (горных систем и впадин). Экзогенные физико-геологические процессы способствуют сглаживанию, выравниванию рельефа. Вместе с тем эти процессы протекают в земной коре одновременно. При этом в различные отрезки времени истории Земли одни виды процессов преобладают, а другие имеют подчиненное значение. Так в диалектическом единстве и борьбе этих противоположных начал формируется, изменяется и преобразуется облик земной коры в ее историческом развитии.

4.1 Эндогенные процессы

Эндогенные физико-геологические процессы, в большинстве случаев, проявляется резко, интенсивно и в короткие отрезки времени. В связи с этим иногда на протяжении незначительного времени могут происходить существенные изменения облика поверхности Земли.

4.1.1 Типы тектонических движений. Под воздействием эндогенных факторов земная кора все время находится в движении, чем и обусловлено ее строение. Такие движения называются тектоническими (от греч. «тектос» — строительный), т.е. определяющими характер строения земной коры. По характеру проявления эти движения делятся на колебательные и складкообразовательные.

Колебательные движения — это медленные, эволюционные движения участков земной коры, происходящие в вертикальном направлении. Вследствие этих движений происходят опускания или поднятия отдельных блоков земной коры, что приводит к смещению границ между морем и сушей и изменению очертаний морей и материков. В связи с этим иногда эти движения называют эпейрогеническими (от греч. «эпейрон» — континент). Известно много примеров проявления колебательных движений. Так, Скандинавский полуостров на протяжении нескольких последних столетий испытывает поднятие со скоростью около 2 см в год. Значительная часть прибрежных участков Нидерландов испытывает

опускание и располагается ниже уровня Северного моря и не затоплена только благодаря дамбам и плотинам. Очень характерным является пример колебания участков земной коры у Неаполитанского залива.

Складкообразовательные движения — это резкие, революционные движения, приводящие к заметным изменениям, возникновению гор и впадин на протяжении небольших отрезков времени. При этом залегающие более или менее горизонтально горные породы выводятся из первоначального положения, т. е. возникают нарушения в залегании горных пород. В зависимости от состояния вещества горных пород характер нарушений бывает различным и возникают различные виды тектонических нарушений.

4.1.2 Виды нарушений в залегании горных пород. Выделяются два основных вида нарушений в залегании горных пород — пликативные и дизъюнктивные.

Пликативные нарушения — это такие, которые происходят без разрыва сплошности пластов горных пород. Этот вид нарушений возникает либо в глубоких горизонтах земной коры, где горные породы под воздействием высоких температур и давления приобретают свойства пластичных тел, либо в тех горных породах, которые характеризуются пластичными свойствами. При этом образуются различные складчатые формы залегания горных пород, т. е. волнообразные изгибы пластов горных пород. По положению изгибов пластов в пространстве различают антиклинальные складки (антиклинали), обращенные выпуклостью вверх и синклинальные складки (синклинали), прогнутые вниз.

Различают следующие элементы складки. **Крылья** — боковые части складок, наклоненные в противоположных направлениях. **Шарнир** (замок) складки — линия перегиба складки или смыкание крыльев. **Ядро** — внутренняя часть складки, заключенная между шарниром и крыльями.

Осевая плоскость — плоскость, разделяющая складку на две равные половины. **Ось складки** — линия пересечения горизонтальной и осевой плоскости, проходящая внутри складки. **Ширина складки** — расстояние между осями двух соединений антиклиналей или синклиналей. **Высота складки** — вертикальное расстояние между шарнирами смежных антиклиналей и синклиналей по одному пласту. Как антиклинальная, так и синклинальная складки бывают вертикальными и наклонными, а также симметричными и асимметричными (рис. 4.1).

Угол падения — угол между поверхностью крыла и горизонтальной плоскостью.

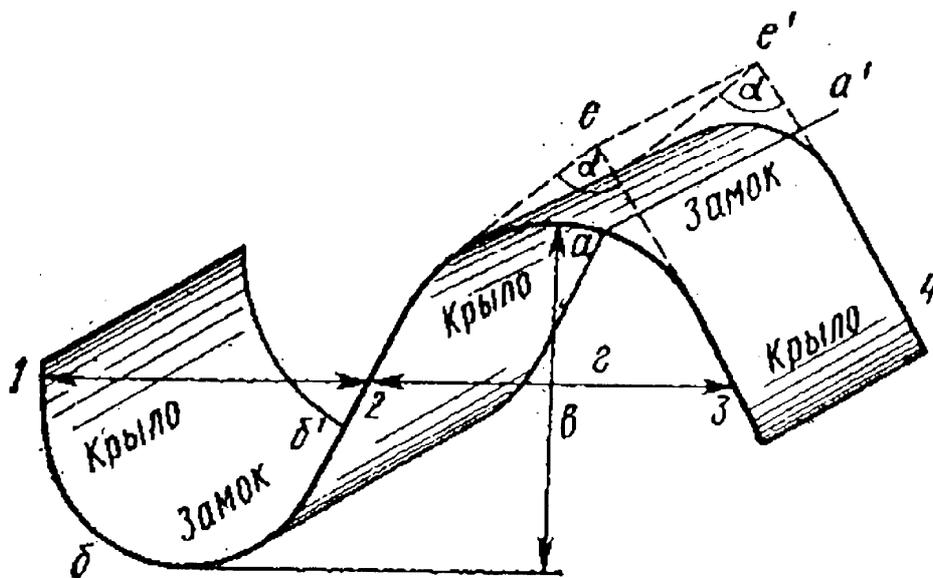
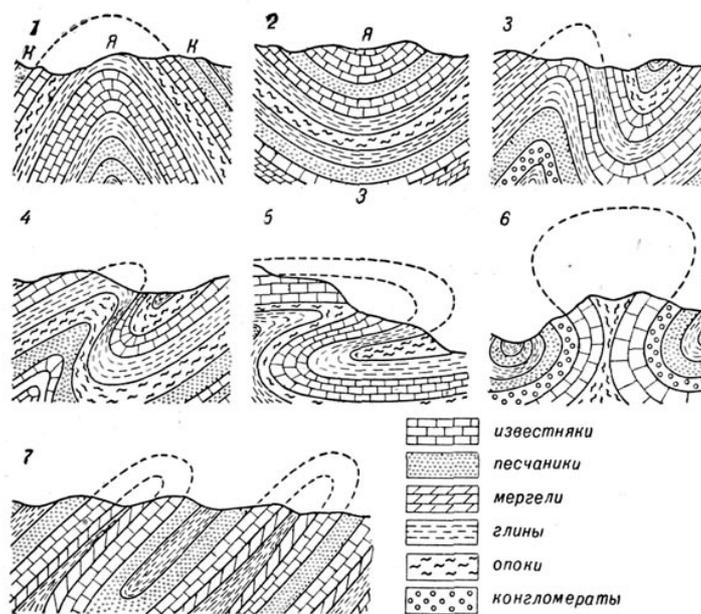


Рисунок 4.1 — Элементы складки:

аа' — шарнир антиклинали; *бб'* — шарнир синклинали; *в* — высота складки; *г* — соответственно ширина антиклинали и синклинали; *е*, *е'* — теоретическая линия пересечения плоскостей, параллельных крыльям; α — угол складки; 1, 2, 3, 4 — точки перегибов слоев на крыльях складки

Различают разнообразные формы складок. Здесь будут рассмотрены наиболее распространенные (рис. 4.2).



1 — антиклиналь прямая; 2 — синклираль прямая; 3 — антиклиналь и синклираль наклонные; 4 — опрокинутые; 5 — лежащие; 6 — веерообразные; 7 — изоклинальные. Элементы складки: Я — ядро; К — крыло; З — замок

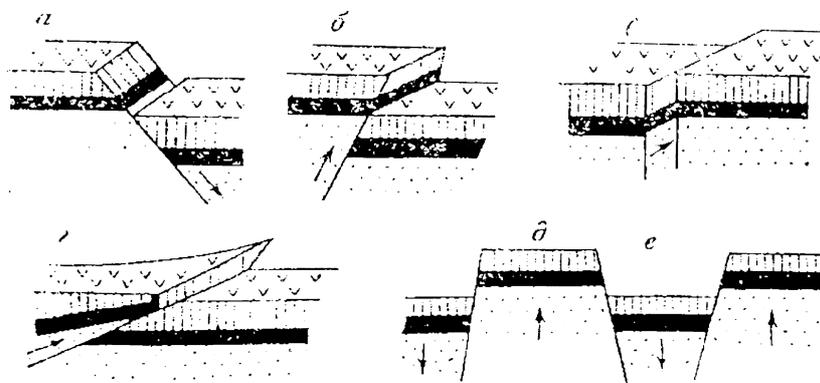
Рисунок 4.2 — Складки горных пород

Прямая складка — такая, у которой осевая плоскость вертикальна. **Косая складка** — такая, у которой осевая плоскость наклонена, а крылья падают под различными углами. **Флексура** — осевая плоскость наклонена, часть пласта находится в горизонтальном или близком к нему положении, а другое крыло круто наклонено или вертикально. **Опрокинутая складка** — осевая плоскость наклонена, оба крыла падают в одну и ту же сторону, поэтому нижнее крыло находится в опрокинутом залегании. **Сундучная (коробчатая) складка** — осевая плоскость вертикальная, а перпендикулярно к ней на значительном расстоянии наблюдается горизонтальное залегание пластов.

Брахантиклинальные и брахисинклинальные складки в плане имеют форму эллипсов с соотношением длинной и короткой осей примерно 3:1. **Куполовые** складки имеют в плане форму близкую к кругу. Отмечаются и другие формы складчатых структур. **Дизъюнктивные (разрывные) нарушения** — это такие, у которых наблюдается разрыв сплошности пластов и в большинстве случаев смещение частей пластов. Этот вид нарушений наблюдается обычно в верхних горизонтах земной коры, где горные породы характеризуются значительной хрупкостью. Различают следующие элементы разрывных нарушений: **сместитель (сбрасыватель)** — поверхность разрыва, по которой произошло смещение разорванных частей пластов горных пород; **лежащее крыло** нарушения — часть, которая перекрывается сместителем; **висячее крыло** — часть нарушения, расположенная выше сместителя; **истинная амплитуда** смещения — расстояние вдоль сместителя между кровлей или подошвой одного и того же пласта в лежащем или висячем крыльях нарушения; **вертикальная амплитуда** — представляет собой проекцию отрезка, выражающего истинную амплитуду на вертикальную плоскость; **горизонтальная амплитуда** — это горизонтальная проекция отрезка, соответствующего истинной амплитуде; **стратиграфическая амплитуда** представляет собой проекцию отрезка, отвечающего истинной амплитуде на плоскости нормали к подошве или кровле пласта. Для разрывных нарушений отмечают также направление падения и простирания, а также угол падения поверхности сместителя. Наиболее распространенными формами дизъюнктивных нарушений являются следующие (рис. 4.3).

Сброс — разрывное нарушение, у которого лежащее крыло поднято, а висячее опущено. Сместитель падает в сторону опущенного крыла. **Взброс** — разрывное нарушение, у которого лежащее крыло опущено, а висячее — приподнято. Сместитель падает в сторону опущенного крыла

под углом более 45° . **Надвиг** — нарушение, аналогичное взбросу со значительной амплитудой смещения и падением смещения менее 45° . **Горст** — нарушение в виде поднятия, ограниченное двумя сбросами, падающими в противоположных направлениях от поднятия. **Грабен** — разрывное нарушение в виде понижения, ограниченное двумя сбросами, падающими навстречу друг другу. **Ступенчатые сбросы** — это целая система сбросов параллельным направлением поверхностей смещения в сторону висячего крыла. **Сдвиг** — это дизъюнктивное нарушение, в котором смещение пород происходит в горизонтальном направлении. Существуют и другие, менее распространенные формы дизъюнктивных нарушений.



*а — сброс; б — взброс; в — сдвиг; г — надвиг; д — горст; е — грабен
Рисунок 4.3 — Типы разрывных нарушений со смещением*

4.1.3 Магматические процессы. Метаморфизм. Вулканическая деятельность. Магматическая деятельность и процессы метаморфизма являются интенсивными проявлениями эндогенных физико-геологических факторов. Прежде всего эти процессы проявляются в формировании магматических и метаморфических горных пород. Интрузивные процессы в настоящее время не наблюдаются и магматическая деятельность проявляется в виде эффузивных процессов. Эти процессы происходят в виде деятельности вулканов, оказывающих существенное влияние на условия обитания и деятельности человека в областях развития вулканов. В связи с этим в настоящем курсе и рассматривается деятельность вулканов. **Вулканами** называются места в земной коре, в которых постоянно или периодически происходят (или происходили) выбросы из недр наружу веществ, имеющих очень высокую температуру. Эти вещества могут быть жидкими (расплавленная лава), твердыми (за-

стывшая лава, обломки пород, пепел), газообразными (различные газы). Типы вулканов представлены на рисунке 4.4.

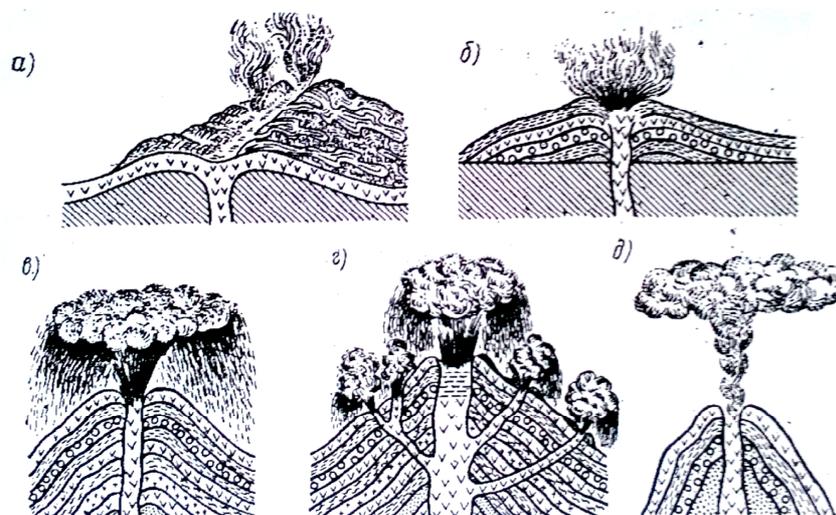


Рисунок 4.4 — Типы вулканов: а — трещинный; б — гавайский; в — стромболианский; г — этновезувийанский; д — первоначальная стадия выброса газов из вулканического очага

По форме вулканы бывают трещинными и точечными. Трещинные вулканы представляют собой разрывы земной коры обычно значительной протяженности, через которые происходят излияния лавы на поверхность Земли. Точечные вулканы представляют собой конусообразные горы, в верхней части которых расположен кратер (чаша), а вглубь ведет жерло (канал), по которому при извержении поднимается лава (рис. 4.4).

По времени действия вулканы разделяются на действующие и потухшие. Действующими называются такие вулканы, которые хотя бы один раз за описанную историю человечества проявляли активную деятельность, сопровождающуюся излиянием лавы или выделением газов. Потухшие вулканы за известную историю активной деятельности не проявляли.

Характер воздействия вулканов на окружающие участки земной коры различный и определяется, главным образом, составом и свойствами лавы. Наиболее распространенной классификацией по этому признаку выделяются следующие типы вулканов, названные по характерным вулканам: **Гавайский** — лава очень жидкая (базальтовая) и излияние ее происходит спокойно, без взрывов и катастроф, выделения газов незначительные, выбросы камней и пепла не наблюдаются, потоки лавы движутся спокойно и широко растекаются; **Стромболи** — магма тоже до-

вольно жидкая, но обогащена газами, что приводит к сильным взрывам и извержению рыхлых продуктов в раскаленном состоянии; **Вулкано** (Этна, Везувий) — лава вязкая, быстро застывающая, что способствует частому закупориванию жерла. Вследствие этого происходят многочисленные взрывы, образование пепла, придающего темную окраску облаку, поднимающемуся из кратера. Потоки лавы незначительные; **Пеле** — лава чрезвычайно вязкая, насыщенная газами, застывающая до выхода наружу. Вследствие этого застывающая лава медленно вытесняется из жерла в виде обелисков, куполов. Извержение сопровождается сильными взрывами, выбросом раскаленного газового облака, обогащенного твердыми частицами и катящегося по склонам вниз; **Маары** (и диатремы) — особый вид вулканов, проявившихся в прошлые геологические времена. Из недр Земли под большим давлением выделялись только газообразные продукты, проникающие через мелкие трещины. В последующем после взрыва образовался выводной канал, заполняющийся твердыми обломками. Из изложенного следует, что воздействие различных типов вулканов на окружающую территорию будет резко отличаться. Вулканы гавайского типа действуют обычно спокойно, а вулканы с вязкой магмой приводят к стихийным бедствиям. Следует иметь в виду, что со временем характер действия одного и того же вулкана может изменяться вследствие изменения состава лавы. За историческое время отмечены многие катастрофические явления, связанные с активной деятельностью вулканов. Так, в 79 г. н. э. при извержении вулкана Везувий погиб город Помпея со всем населением, засыпанный горячим вулканическим пеплом. В 1815 г. при извержении вулкана Тамбора на острове Ява в атмосферу было выброшено около 150 куб. км твердых частиц. В 1883 г. извержение вулкана Кракатау (Зондский архипелаг) на высоту в несколько десятков километров было выброшено около 50 куб. км твердых частиц, которые на протяжении нескольких лет носились в атмосфере, а от толчка при взрыве возникла огромная волна, прошедшая весь Индийский и Тихий океаны. Эти катастрофические явления сопровождались одновременной гибелью десятков тысяч человек.

По мере затихания и прекращения активной деятельности вулканов, наблюдаются различные поствулканические явления, которые могут продолжаться многие тысячелетия после прекращения активной деятельности вулканов. **Фумаролы и сольфатары** — представляют собой выделение горячих газов в местах проявления вулканической деятельности.

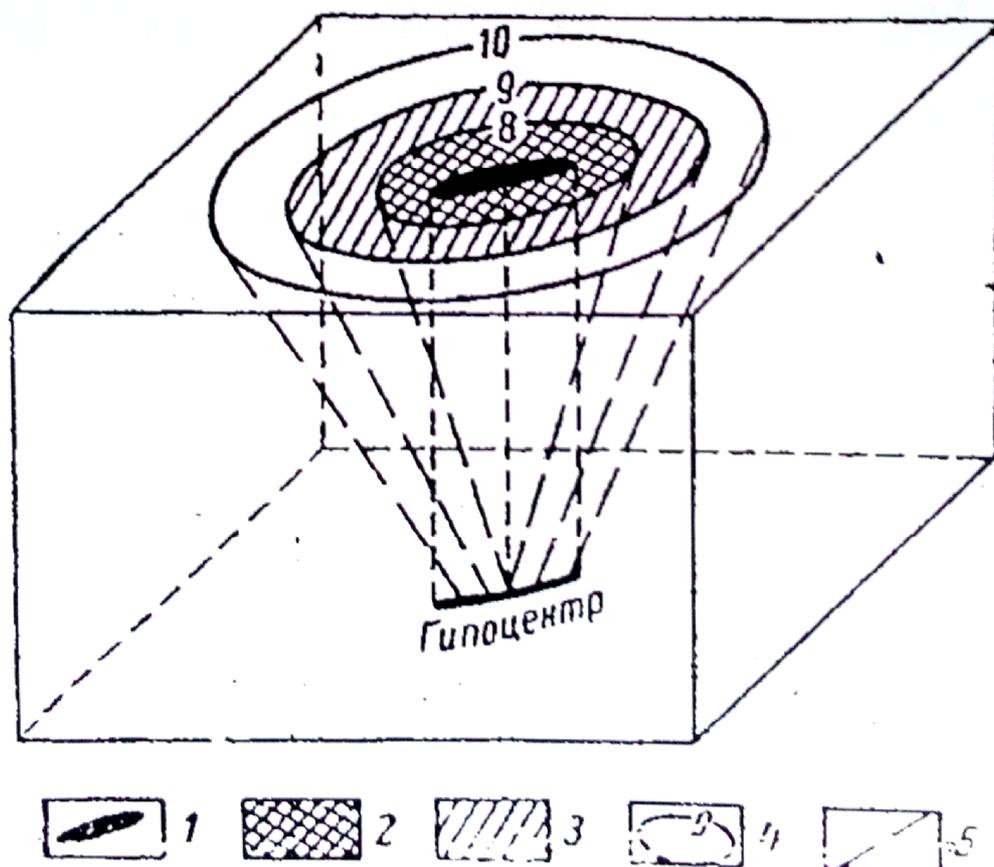
Мофеты — выделения холодных углекислых газов, указывающие на полное угасание деятельности вулканов.

Гейзеры представляют собой пароводяные фонтаны, выбрасываемые из недр под давлением вследствие нагрева воды окружающими горячими породами. Фонтан Гейзер в Исландии, по имени которого названы все подобные образования, выбрасывает горячую воду на высоту около 100 м. **Грязевые вулканы** — конусообразные холмы с кратерами, из которых выбрасываются потоки грязи под давлением горячих газов и паров воды. Следует иметь в виду, что в районах развития нефтяных и газовых месторождений наблюдаются грязевые вулканы, не связанные с вулканической деятельностью, а обусловленные давлением газов органического происхождения. **Термы** — горячие источники с водой, обычно насыщенной различными химическими веществами, которые встречаются не только в областях вулканической деятельности, но и в зонах интенсивных новейших тектонических движений, сопровождающихся разрывами в земной коре. Современная вулканическая деятельность приурочена к областям активных тектонических процессов альпийской фазы складчатости. Активная вулканическая деятельность наблюдается на Курильских островах и Камчатке, где располагается высочайший на евро-азиатском континенте (4788 м) вулкан Ключевская сопка, а также широко известная долина гейзеров. Самыми высокими из потухших вулканов являются Эльбрус и Казбек на Кавказе. Несмотря на стихийные бедствия, часто наблюдаемые в зонах действия вулканов, эти области большей частью густо заселены, т. к. почвы, сформировавшиеся из рыхлых вулканических продуктов, обогащены микроэлементами и чрезвычайно плодородны. Во многих местах на поверхности постоянно формируются различные полезные ископаемые (напр. сера на склонах вулкана Этна на острове Сицилия). В последнее время широко используется тепло для обогрева жилищ, устройства теплиц (Исландия, Япония). Предпринимаются попытки использования тепловой энергии и строительства электростанций, работающих на тепле недр Земли.

4.1.4 Сейсмические явления. Среди эндогенных физико-геологических процессов сейсмические явления оказывают самые большие отрицательные воздействия на инженерные сооружения.

Сейсмические явления — это любые резкие колебания отдельных участков земной коры. Такие колебания называются землетрясениями (когда они проявляются на суше) и моретрясениями (когда они проявля-

ются в акваториях морей). Землетрясения вызываются различными причинами и по генезису эти явления обычно разделяются на три типа: тектонические, вулканические и обвальные. **Тектонические** землетрясения — это такие, которые происходят в результате толчков, возникающих при смещениях отдельных глыб земной коры, возникших вследствие разрывов в земной коре при тектонических процессах. Эти землетрясения являются наиболее распространенными (около 90 %) и обычно наиболее сильные. **Вулканические** землетрясения — это такие, которые возникают вследствие толчков при взрывах в процессе активной деятельности вулканов. Эти землетрясения наблюдаются значительно реже, но иногда характеризуются чрезвычайно катастрофическими последствиями. **Обвальные** землетрясения возникают в результате обвалов в горах, в пустотах земной коры, а также при резком смещении больших масс осадков на континентальных склонах в прибрежных участках морей. Таким образом, обвальные землетрясения вызываются не эндогенными, а экзогенными процессами, происходящими на поверхности Земли или вблизи нее. В местах проявления землетрясений различают особые точки колебания земной коры: **гипоцентр** — точка, в которой возникают толчки. Она расположена на определенной глубине и колебания распространяются во всех направлениях от места их возникновения. Эпицентр — точка на поверхности Земли, расположенная над гипоцентром по радиальному направлению от центра Земли. Максимальной силы колебания фиксируются в эпицентре и по мере удаления от него ослабевают. Чем глубже располагается гипоцентр, тем больше участки земной коры подвергаются колебаниям. Интенсивность землетрясения определяется силой и характером толчка, возникшего в гипоцентре, а также физическими свойствами горных пород, расположенных в зоне землетрясения и условиями их залегания. От гипоцентра возникают два вида волновых колебаний — продольные, характеризующиеся максимальными скоростями (около 7,17 км/сек) и поперечные, у которых скорости значительно меньше (около 4,01 км/сек). На поверхности Земли от эпицентра распространяются поверхностные волновые колебания с минимальными скоростями (около 3,5 км/сек). Вместе с тем наблюдается резкое различие скорости волновых колебаний для различных горных пород. Так, скорость продольных волн для гранита составляет 3960 м/сек, а для слабо сцементированных песчаников — 1670 м/сек. (Рис. 4.5)



1 — эпицентр; 2 — плейстосейсмическая область; 3 — изосейсмальные зоны;
4 — изосейсты; 5 — сейсмические лучи

Рисунок 4.5 — Схема сейсмической области

Для регистрации колебаний используются специальные приборы — сейсмографы (от греч. «сейсма» — трясение, колебание и «графо» — пишу). Интенсивность землетрясений определяется по шкале землетрясений в баллах. Баллы оцениваются по ощущению землетрясений, движению предметов, степени разрушения сооружений, деформации участков земной коры, а численно по максимальному ускорению (в мм/сек^2), которое испытывают участки земной коры от толчка. Существует несколько шкал землетрясений. Обычно используется 12-бальная шкала, основанная на ощущении землетрясений и ускорении частиц земной коры (шкала Меркалли-Канкани), либо 12-бальной в зависимости от максимальной амплитуды смещения частиц горных пород на условном расстоянии в 100 км от эпицентра (шкала К. Рихтера) (табл. 4.1). В целях удобства в шкале Рихтера используется не линейный показатель амплитуды, а десятичный логарифм амплитуды смещения.

На территории азиатских государств чаще всего используется 7-бальная шкала землетрясений. Приведена шкала землетрясений с сопоставлением некоторых показателей интенсивности этого явления.

Таблица 4.1

Шкала оценки землетрясений К. Рихтера

Балл	Ускорение в мм/сек ²	Наименование землетрясений и характеристика явлений, сопровождающих его
I	менее 2.5	<i>Незаметное.</i> Отмечается только сейсмографами.
II	2,5–5	<i>Очень слабое.</i> Ощущается только особо чувствительными лицами или находящимися в состоянии полного покоя в верхних этажах и в ночной тишине.
III	5–10	<i>Слабое.</i> Ощущается лишь небольшой частью населения, находящегося в помещениях в спокойном состоянии; при внимательном наблюдении замечается легкое раскачивание занавесок, открытых дверей, висячих ламп; чувствуется легкое сотрясение, как от проехавшей машины.
IV	10–25	<i>Умеренное.</i> Распознается большинством людей, находящихся в помещениях и немногими на открытой местности. Звон близко стоящей посуды и оконных стекол. Скрип дверей, треск балок и потолков. Легкие колебания жидкости в открытых сосудах. Легкое раскачивание висячих предметов. Иногда пробуждаются спящие.
V	25–50	<i>Чувствительное.</i> В помещениях ощущается всеми людьми, на открытой местности — многими. Колебание стульев, кроватей как на корабле при свежей погоде. Легкие предметы сдвигаются с места. Двери и оконные ставни захлопываются, оконные стекла лопаются. Из открытых сосудов выплескивается часть жидкости. Маятники часов останавливаются или получают более сильный размах. Некоторые люди выбегают из помещений. Животные беспокоятся. Иногда образуются трещины в сырых грунтах.
VI	25–50	<i>Сильное.</i> Ощущается всеми людьми с ужасом. Большинство выбегают из помещений. Мебель и посуда опрокидываются. Небольшие колокола звонят. В зданиях возникают трещины, обваливается штукатурка. Передвижение людей неустойчивое. Животные выбегают из укрытия. Возникают трещины в сырых грунтах шириной до 1 см. В горных районах наблюдаются единичные оползни. Частично изменяется приток воды в источниках и уровень в колодцах.

Продолжение табл. 4.1

VII	100–250	<i>Очень сильное.</i> Общий ужас и бегство населения из домов. Ломаются мебель. Звонят крупные колокола. Наблюдается падение дымовых труб. Образуются трещины в стенах зданий, обваливаются лепные украшения. Полностью сохраняются только очень прочные каменные, а также деревянные и плетеные здания. Передвижение людей без опоры затруднено. Образуются трещины в сырых грунтах и в сухих грунтах. В горных районах наблюдаются оползни и обвалы. В реках и озерах заметное волнение и помутнение воды. Изменяется уровень воды в колодцах. Иногда исчезают существующие и появляются новые источники воды.
VIII	250-500	<i>Разрушительное.</i> Всеобщая паника. Люди с трудом удерживаются на ногах. Наблюдаются отдельные несчастные случаи. Опрокидываются тяжелые предметы, статуи, каменные ограды. Здания даже прочной постройки повреждаются, частично обрушиваются. Деревянные строения трещат в связках. Трещины в грунтах достигают нескольких сантиметров. Большие осыпания, оползни, горные обвалы. Возникают новые водоемы, исчезают существующие и появляются новые источники.
IX	500–1000	<i>Опустошительное.</i> Полное разрушение многих зданий и сильное повреждение очень прочных, которые становятся непригодными для жилья. Деревья шумят, как при ураганном ветре, иногда ломаются. В деревянных постройках образуются трещины, а более слабые из них разрушаются. Смертные случаи среди населения наблюдаются в различных пунктах местности, подвергшейся землетрясению. Оползни, горные обвалы. Происходят небольшие грязевые извержения. Сильные волнения воды в водоемах.
X	1000–2500	<i>Уничтожающие.</i> Разрушение многих зданий вместе с фундаментами. Много человеческих жертв. Повреждаются насыпи, плотины дамбы. Железнодорожные рельсы изгибаются, а газовые, водопроводные и канализационные трубы разрываются. Деревья ломаются. Возникают массовые пожары. Животные мечутся и кричат. Образуются трещины и волнообразные складки каменных и асфальтовых мостовых. Большие обвалы и оползни в горах. Уровень воды в колодцах часто меняется. Вода из рек и озер выплескивается на берег. Рыхлые грунты на берегах рек сползают, что нередко существенно изменяет рельеф.

Продолжение табл. 4.1

XI	2500–5000	<i>Катастрофическое.</i> Все каменные постройки полностью разрушаются. Разламываются каменные и металлические опоры мостов. Рельсы железнодорожных путей изгибаются и скручиваются. Полностью разрываются все трубопроводы. Все дамбы и плотины разрушаются. Деревья ломаются и выворачиваются с корнем. Сохраняются лишь единичные особо прочные деревянные постройки. Образуются многочисленные трещины и смещения горных пород в вертикальном и горизонтальном направлениях. Многочисленные обвалы и оползни. Сильно меняется режим водных бассейнов и уровня подземных вод. Гибель людей, животных, имущества.
XII	более 5000	<i>Необыкновеннокатастрофическое.</i> Полное разрушение всех сооружений, возведенных человеком. Огромные обвалы и оползни. Большие разрывы, сопровождающиеся значительными вертикальными и горизонтальными смещениями горных пород. Существенное изменение рельефа. Изменяется режим подземных и наземных вод. Возникают озера, водопады. Реки меняют свои русла. Сильная катастрофа — массовая гибель людей, животных, растительности, сплошные пожары, наводнения.

В истории человечества известны многие катастрофические землетрясения, сопровождавшиеся огромными разрушениями и большими человеческими жертвами. Так, в 526 г. н. э., во время землетрясения, охватившего значительную часть побережья Средиземного моря разрушено много населенных пунктов, погибло от 100 до 200 тыс. человек. В 1556 г. в провинции Шеньси (Китай) погибло около 830 тыс. человек («кровавое землетрясение»). В 1908 г. во время Мессинского землетрясения (остров Сицилия) полностью разрушено г. Мессину, погибло свыше 100 тыс. чел. В 1920 г. в провинции Гуаньсу (Китай) во время землетрясения произошли огромные разрушения, погибло около 180 тыс. человек. Во время Токийского землетрясения (Япония) 1 сентября 1923 г. было разрушено около 650 тыс. домов и погибло около 100 тыс. человек. В 1948 г. землетрясением разрушена значительная часть г. Ашхабада (Туркмения), большие человеческие жертвы. В 1951 г. во время Гобийского землетрясения (Монголия) у подножья гор образовалась трещина длиной около 400 км. В 1966 г. произошло Ташкентское землетрясение, приведшее к разрушению центральной части города и многим человеческим жертвам. При море-

трясениях часто наблюдается возникновение новых островов (при поднятиях морского дна), образование впадин (при его опускании). Кроме того, возникают огромные волны, иногда высотой в десятки метров— Цунами (*от японского «цунами» — большая волна), которые, достигая берегов, причиняют опустошительные разрушения. Как видно из изложенного, сейсмические явления являются самыми пагубными для человечества. Районы, характеризующиеся наиболее частыми землетрясениями, приурочены в основном к альпийской зоне складчатости, т. е. к тем участкам земной коры, где активные тектонические процессы происходят и в настоящее время. Кроме того при глубоких гипоцентрах землетрясений они могут распространяться на огромные расстояния и охватывать территории, которые в обычных условиях являются устойчивыми. Так, при землетрясении в 1986 г. гипоцентр которого находился на глубине около 160 км на территории Румынии, колебания достигли Москвы (около 3 баллов). Учитывая огромный ущерб, который причиняют землетрясения, при проектировании и строительстве в сейсмически активных районах соответствующими нормами предусматриваются специальные антисейсмические мероприятия. В частности, все конструкции сооружений должны обладать повышенной прочностью и гибкостью, фундаменты закладывают на значительную глубину, применяются особые принципы планировки населенных пунктов (ширина улиц, высота зданий и др.). В некоторых случаях (при возведении плотин в горах и т. п.) производятся опытные исследования на моделях сооружений, с целью усиления конструкций в наиболее уязвимых местах. Учитывая огромное влияние землетрясений на условия обитания и инженерную деятельность человека, в последнее время ведутся работы по прогнозированию этих явлений. Эти работы направлены, главным образом, на изучение газового режима подземных вод, изменяющегося под влиянием изменения направлений в земной коре. В Японии, Китае изучаются биологические факторы (поведение живых организмов во время, предшествующее землетрясениям). Эти исследования имеют целью определение времени и возможной интенсивности землетрясений для принятия мер, ослабляющих их пагубные последствия.

4.2 Экзогенные процессы

4.2.1 Выветривание. Главными факторами экзогенных процессов являются тепловая энергия Солнца, атмосфера Земли, вода и организмы. Геологическая деятельность этих факторов приводит к разрушению и смещению верхних горизонтов горных пород. В связи с этим геологиче-

ская деятельность экзогенных факторов носит название процессов денудации (от латинского «денудацио» — обнажение). Эти процессы начинаются разрушением горных пород земной коры. Разрушение и разрыхление горных пород на поверхности Земли под влиянием различных факторов называется **выветриванием**. Этот термин никогда не стоит смешивать с геологической деятельностью ветра, поскольку процессы выветривания охватывают много различных факторов, способствующих разрушению горных пород. По характеру факторов, приводящих к разрушению горных пород, выветривание разделяется на три вида: физическое, химическое и органическое. В природе обычно эти виды выветривания действуют одновременно.

Физическое (механическое) выветривание — это такой вид разрушения горных пород, который происходит, главным образом, под воздействием физических факторов — температуры, механического воздействия при соударении движущихся обломков горных пород, электрических зарядов. При этом виде выветривания химический (и минеральный) состав горных пород не меняется.

Химическое выветривание — это такой вид разрушения горных пород, который происходит, главным образом, под воздействием химических процессов. При этом основными факторами, воздействующими на горные породы, является газовый состав (особенно кислород), способствующий различным химическим процессам, а также вода, приводящая к растворению минералов и последующим химическим преобразованиям. При химическом выветривании происходят значительные, а иногда полные преобразования вещественного (минерального) состава горных пород.

Органическое выветривание — это такой вид разрушения горных пород, который происходит, главным образом, под воздействием организмов. При этом, наряду с незначительными механическими воздействиями, происходят главным образом химические процессы, связанные с растворением минералов органическими кислотами, выделяемыми организмами. В последующем, в процессе жизнедеятельности организмов, происходит дальнейшее преобразование вещества. В связи с этим иногда химическое и органическое выветривания объединяются в один вид — биохимическое выветривание. Зачастую бывает затруднительно определить, какой вид выветривания является главным, поскольку на одну и ту же часть горной породы одновременно воздействуют различные факторы. В целом следует иметь в виду, что интенсивность различных видов выветривания обусловлена главным образом климатом и рельефом мест-

ности. В областях засушливого и холодного климата основным является физическое выветривание, т. к. химические процессы в этих условиях замедлены, а органический мир довольно скуден. В областях теплого и влажного климата преобладает химическое и органическое выветривание, поскольку химические процессы протекают интенсивно, а органический мир богат и разнообразен. В горных районах, вследствие больших скоростей перемещения горных масс преобладает механическое (физическое) разрушение, а на равнинах и низменностях — химическое и органическое.

В результате выветривания происходит изменение первоначальных форм рельефа. В равнинных областях при неравномерности процессов выветривания, вследствие различной прочности горных пород, трещиноватости отдельных участков и т. п., на поверхности коренных пород образуются неровности, в углублениях которых накапливаются рыхлые продукты выветривания, сохраняющиеся на месте их образования, которые называются **элювием** (от латинского «элювис» — разлив). Эти массы иногда имеют значительную мощность и защищают коренные породы от дальнейшего выветривания. С поверхности элювий обычно совершенно рыхлый, а с глубиной постепенно переходит в коренную породу. На крутых склонах обломки под влиянием силы тяжести, а иногда и потоков вод постепенно скатываются вниз, образуя скопления, которые называются **делювием** (от латинского «делуо» — смываю). При крутых склонах обломки скатываются до самого низа и образуют скопления в виде **осыпей**, а при пологих склонах они образуют полосы, которые располагаются почти от вершин до оснований и называются **россыпями**. Конечные продукты выветривания обычно сильно измельчены, что способствует закреплению в них корней растений, обогащению органического выветривания и формированию почв, состав которых определяется характером исходных пород и условиями их образования. Все рассмотренные виды образования являются неустойчивыми и непригодны, как основания сооружений, за исключением некоторых видов элювия.

4.2.2 Геологическая деятельность поверхностных текущих вод.

При поступательном движении воды выполняется огромная механическая работа, способствующая разрушению горных пород, переносу и накоплению продуктов разрушения. В связи с этим текущие поверхностные воды, действующие почти на всей поверхности суши, являются важнейшим экзогенным фактором. Текущие поверхностные воды проявляют себя в виде временных потоков, ручьев и рек. Разрушающая работа теку-

чих вод носит название **эрозии** (от латинского «эродо» — размывать, разъедать). В зависимости от направления этого процесса различают плоскостную (поверхностную), глубинную и боковую эрозию. Плоскостная эрозия представляет собой смыв рыхлых масс горных пород на склонах текучими водами. На участках, сложенных однородными породами, смыв происходит сравнительно равномерно. На участки, сложенные более слабыми породами (рыхлыми, трещиноватыми) разрушаются интенсивнее, что приводит к возникновению понижения в этих участках, а вследствие этого к увеличению скорости движения воды и усилению разрушающего действия текучих вод. Глубинная эрозия представляет собой размыв горных пород в глубину. При определенных обстоятельствах разрушающая деятельность вод распространяется и в стороны. Боковая эрозия представляет собой подмыв горных пород в стороны от направления потока.

Геологическая деятельность текучих поверхностных вод зависит от массы воды и скорости ее движения и включает в себя эрозию, перемещение продуктов разрушения (транспортировку) и по мере ослабления силы потока отложение (аккумуляцию) перемещенных продуктов разрушения, которые называются **аллювием** (от лат. «аллювио» — нанос, намыв). Характерным отличием рек от временных потоков является постоянная их геологическая деятельность, обусловленная наличием постоянного водного потока. Глубинная эрозия ограничивается определенным уровнем (плоскостью), до которой возможен размыв. Этот уровень носит название **базиса эрозии**. Для каждой реки базисом энергии является уровень, на котором река (поток) впадает в другую реку, озеро, море. Абсолютным базисом эрозии, до которого возможен размыв, является уровень Мирового океана. По мере размыва горных пород реки образуют сравнительно узкие и вытянутые в земной коре — речные долины. Ввиду наличия неровностей на поверхности Земли при зарождении реки поток движется неравномерно, усиливаясь в местах крутого падения потока и ослабевая в местах пологих. Вследствие этого глубинная эрозия так же неравномерна — на крутых склонах, где образуются пороги, а при отвесных склонах — водопады, и на пологих участках, где течение воды замедлено, образуются плесы с ослабленной глубиной эрозии. При длительном существовании реки долина вдоль русла углубляется настолько, что на определенной стадии образуется плавная вогнутая кривая линия, более крутая в верхнем течении и пологая — в нижнем (рис. 4.6). Такая плавная кривая называется выровненной кривой эрозии или **профилем**

равновесия реки. На этом этапе уравнивается количество обломков горных пород, которые разрушаются, транспортируются и аккумулируются рекой. В последующем интенсивно развивается боковая эрозия и изменяется поперечный профиль речной долины. Следует иметь в виду, что боковая эрозия объясняется не только уменьшением скорости потока при выполаживании профиля реки, но также неоднородностью геологического строения долины реки и вращением Земли. Этот фактор приводит к тому, что русла рек, текущих в меридиональном направлении, в северном полушарии перемещаются вправо, а в южном влево. В связи с этим такие реки вырабатывают асимметричную в поперечном сечении долину, у которой в северном полушарии правый берег крутой, а левый — пологий.

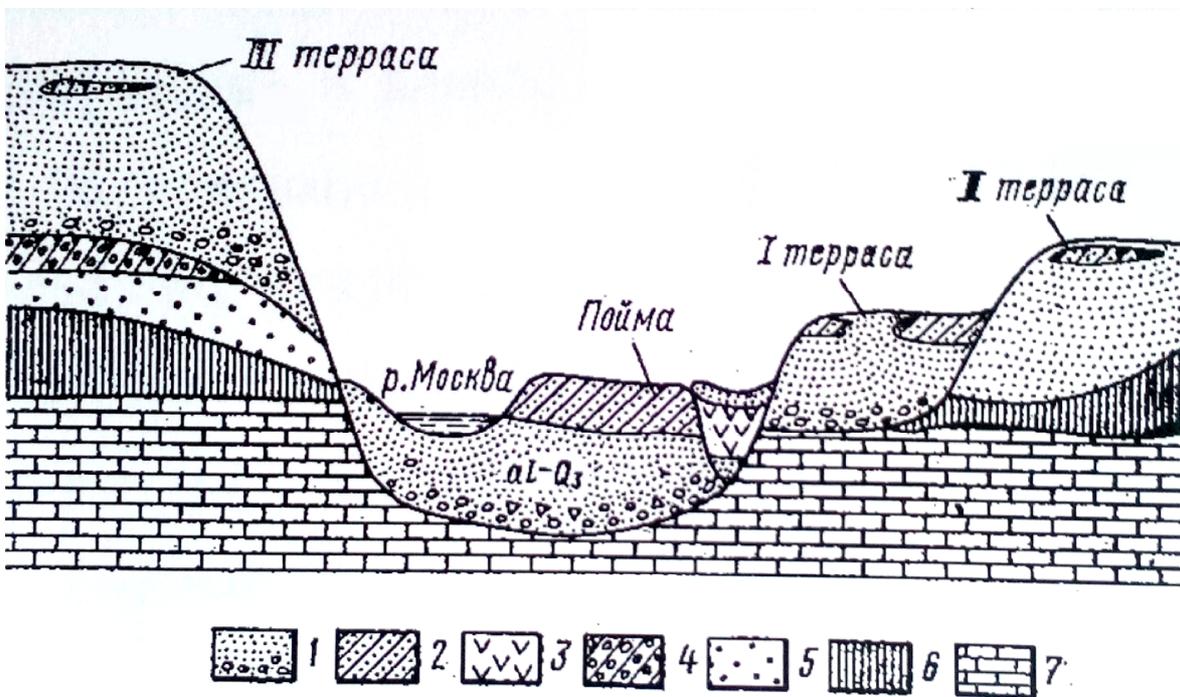


Рисунок 4.6 — Схема геологического строения долины реки (по Ф В Котлову):
 1 — русловые фации (пески) в основании с пролювиальным горизонтом (галечники, щебень, валуны); 2 — пойменные фации (супеси, суглинки, глины); 3 — старичные фации (глины, илы, торф); 4 — ледниковые отложения (валунные суглинки, супеси); 5 — флювиогляциальные отложения верхней юры (глины); 7 — известняки

В южном полушарии асимметрия обратная. Поскольку в долину реки сносится со склонов разрушенный материал, возникают препятствия на пути движения воды, а замедлившийся поток не в состоянии уносить все обломки, русло реки меняет направление. Так возникают излучины реки или **меандры**. При этом вогнутые берега размываются интенсивнее,

что приводит к увеличению меандр, постепенному их сближению. Во время паводка река размывает эти участки и спрямляет русло. Отделенная от реки меандра получает все меньший приток воды и постепенно наносами отделяется от реки, образуя старицу, которая имеет очертания серповидного озера. По мере выполаживания продольного профиля реки и уменьшения скорости водного потока происходит заиливание наносами стариц и русла реки, которые зарастают растительностью и река, преобразуется в болото, прекращает свое существование. Так схематично выглядит полный цикл эрозии.

Таким образом, в развитии реки могут быть выделены определенные стадии, характеризующиеся определенными признаками.

1 — стадия юности. Течение реки неравномерное, скорости течения большие, река изобилует водопадами, порогами, перекатами. Весь обломочный материал уносится рекой. Склоны долин крутые. На этой стадии находятся горные реки, а в отдельных участках и реки, протекающие на равнинах. В деятельности реки преобладает глубинная эрозия. В руслах рек наблюдаются глыбы, валуны, крупная галька. Интенсивная эрозия объясняется высоким падением воды и большими скоростями ее движения. Так водопад Джерзоппа в горах Западные Гаты (Индия) падает вертикально с высоты 249 м, водопад Виктория на р. Замбези в Африке 130 м (при ширине 1600 м), Ниагарский водопад (Северная Америка) — высота 50 м. На этом последнем по многолетним наблюдениям скорость разрушения уступа достигла 1.2 м в год. Такие реки, даже при небольших размерах, обладают огромными запасами энергии и на них сооружаются крупные гидроэлектростанции.

2 — стадия зрелости. Река вырабатывает профиль равновесия. Количество разрушенного, уносимого и аккумуляруемого материала уравнивается. Глубинная эрозия почти прекращается и начинается широко развиваться боковая эрозия. Река переносит огромные количества песчаного, пылеватого и глинистого материала. Так, ежегодный перенос твердых частиц во взвешенном состоянии у р. Янцзы составляет 2532 млн. тонн, у р. Аму-Дарья — 570 млн. тонн, р. Волга — 19 млн. тонн и т. д. На этой стадии развития находится большинство равнинных рек.

3 — стадия старости. Скорость движения воды в реке резко уменьшена. Широко развиты меандры и старицы. Река не в состоянии уносить весь материал, поступающий со склонов. Происходит заиливание и зарастание русла. На этой стадии находятся реки низменностей.

4 — стадия дряхлости. Скорость движения воды ничтожна, а местами прерывается и река пересыхает, зарастает растительностью и превращается в болото. Но обычно такой цикл не проходит до конца, поскольку, как уже указывалось, одновременно с экзогенными факторами на земную кору воздействуют эндогенные, приводящие к поднятиям и опусканиям отдельных ее участков. При этом происходит изменение положения базиса эрозии реки и повторение предыдущих этапов развития реки. Это может происходить многократно. Вследствие этого в речных долинах возникают террасы. Количество террас указывает на количества повторений циклов эрозии. Кроме того, образованию террас способствует увеличение стока рек при изменении климата и изменение количества обломочного материала, поступающего в реку. Различают три вида террас.

Эрозионные террасы — это такие террасы, у которых террасовидная площадка и уступ сложены коренными породами, а аллювий на их поверхности отсутствует. Такой характер террас свидетельствует о том, что изменение режима реки произошло на ранней стадии цикла эрозии, когда аллювий еще накапливается.

Аккумулятивные (аллювиальные) террасы — это такие, у которых уступ и площадка сложены аллювиальными отложениями, что свидетельствует о длительном цикле развития долины реки.

Цокольные (смешанные) террасы характеризуются тем, что в основании (цоколе) их уступа залегают коренные породы, а часть уступа и террасовидная площадка сложены аллювием. Схема строения террас и их элементы показаны на рисунке 4.6. Нумерация террас начинается от русла (от современной) к более древним. Различают пойменную террасу, прилегающую к руслу, которая при паводках заливается водой и полностью сложена аллювием. На этой террасе располагаются старицы, произрастают кустарники и лиственный лес.

Песчаная (боровая) терраса является следующей и сложена преимущественно песчаным аллювием. На ней произрастает хвойная растительность (бор) и расположены населенные пункты.

Степные террасы — относятся к более древним. На них располагаются возделываемые поля. Степных террас может быть несколько. В зависимости от стадии развития реки, характера геологического строения и характера сечения различают несколько типов речных долин.

Каньонообразные долины — узкие и глубокие с крутыми берегами, сложенными коренными породами. Такие долины образуются на началь-

ной стадии развития реки, когда интенсивная глубинная эрозия приводит к быстрому углублению долины и полному выносу обломочного материала. Такой тип долин характерен для горных рек. Например, каньон реки Колорадо (Сев. Америка) при ширине в несколько сотен метров имеет глубину около 2000 м. Долина *одностороннего развития* характеризуется тем, что одна сторона их имеет крутые склоны, а другая — пологие и террасовидные, на которых наблюдаются аллювиальные отложения. Долины *двухстороннего развития* имеют террасы на обоих склонах. В этом случае могут выделяться симметрические долины, у которых террасы обоих склонов располагаются симметрично, а асимметричные — такие долины, у которых количество и положение террас одного склона отличается от другого. В выделенных типах долин, у которых условия залегания и типы пород одного склона аналогичны другому склону. Неоднородные долины характеризуются тем, что условия залегания и тип пород одного склона отличаются от другого. Иногда выделяются разновидности по мощности аллювиальных отложений в дне долины.

Форма долин, условия залегания и состав пород являются важными факторами, определяющими условия ведения строительных работ, особенно при гидротехническом строительстве.

В связи с этим, оценка видов речных долин имеет большое практическое значение, поскольку в долинах рек обычно возводятся крупные населенные пункты, различные инженерные сооружения, в том числе такие ответственные сооружения, как плотины гидроэлектростанций, крупные мостовые переходы и др. Вследствие того, что в нижнем течении рек скорость движения воды заметно уменьшается, происходит интенсивное накопление аллювиального материала, который постепенно заполняет прилегающую к устью реки часть моря или озера, поднимаясь выше поверхности реки, и образует новые участки суши — *дельту* реки, названную по форме греческой буквы Δ. Образованию дельты способствует малая глубина моря и общее поднятие земной коры в зоне устьевой части реки. В этих местах река обычно разделяется на отдельные рукава, а площадь дельты бывает очень большая. Так дельта Волги достигает площади свыше 12000 км². В тех случаях, когда земная кора у устья реки испытывает опускание, а в море развиты приливы и отливы, устья рек имеют воронкообразную форму и называются эстуариями (губами). Такими, например, являются губы рек Оби, Таза и других.

Временные потоки образуются вследствие ливневых дождей, быстрого таяния снега или льда, а также при прорыве различных запруд. В условиях спокойного рельефа и непрочных горных пород на склонах образуются промоины и рытвины, которые по мере усиления глубинной эрозии превращаются в **овраги**, представляющие собой удлиненные глубокие понижения с крутыми и даже вертикальными склонами. По мере развития боковой эрозии склоны оврагов выполаживаются, зарастают травой, кустарниками, иногда деревьями и превращаются в **балки**. В зависимости от изменения положения базиса эрозии овраги могут расти, затухать и превращаться в балки. Развитие этих форм рельефа наносит большой ущерб, т. к. при этом выводятся из оборота обширные сельскохозяйственные угодья и создаются помехи для ведения строительных работ. Особенно большой ущерб наносят временные потоки, развивающиеся в горных районах. При этом образуются мощные грязекаменные потоки — сели (азиатское их название) или муры (европейское название). Они обладают огромной живой силой и с большой скоростью переносят обломки в несколько кубометров, причиняя большие разрушения. Например, в 1926 г селевый поток, обрушившийся на г. Алма-Ату, разрушил многие здания и оставил после себя на большей части города слой грязи и камней до высоты вторых этажей. В предгорьях, где силы временных потоков ослабевают, образуются большие скопления обломочного материала различных размеров, которые называются **пролювием** (от лат. «пролюо» — промывать). Эти явления причиняют огромный ущерб и требуют осуществления значительных, иногда дорогостоящих защитных противоселевых мероприятий в виде ловушек, дамб. Например, дамба в урочище Медео на р. Алмаатинке.

4.2.3 Геологическая деятельность водоемов (морей, озер, болот). Геологическая деятельность водоемов является одним из важных экзогенных факторов, что обусловлено огромной протяженностью береговых линий и интенсивным воздействием водных бассейнов на горные породы земной коры. Эта деятельность состоит из разрушающей и аккумулирующей. Ввиду преимущественно колебательных движений воды в водоемах, разрушение горных пород происходит в виде истирания. В связи с этим разрушающая деятельность носит название морской **абразии** (от лат. «абразио» — соскабливать, истирать). Главными причинами механического воздействия морских вод на горные породы являются движе-

ния воды, связанные с волнениями вследствие действия ветра, приливами и отливами, обусловленными притяжением Луны и Солнца, и морские течения. Волны обладают огромной разрушающей силой, т. к. высота их достигает десятков метров, а скорость 6–10 м/сек. В некоторых случаях давление волн достигает 10–40 т/м² и они могут передвигать и даже перебрасывать через препятствия глыбы горных пород весом в сотни тонн.

Приливы и отливы, т. е. повышение и понижение уровня моря, закономерно повторяется дважды в течение лунных суток (24 ч. 50 мин.), вызываются притяжением Луны и Солнца и наблюдаются при прохождении Луны через меридиан определенного места. Высота приливов в открытом океане составляет около 2,5 м, но в некоторых прибрежных участках, особенно в узких проливах их высота достигает 21 м. Естественно, что движущаяся вода приливов и отливов может выполнять огромную механическую работу. На этом основана работа строящихся в последнее время приливных электростанций. Морские течения возникают вследствие постоянно дующих ветров, разности атмосферного давления, различий в солености воды и других причин. Течения распространяются на огромные расстояния (напр. Гольфстрим начинается в Карибском море и достигает Северного Ледовитого океана). Скорость движения течений иногда также значительна (Гольфстрим на выходе из Карибского моря имеет скорость около 120 км/сутки). В связи с этим течения также являются важным фактором геологической деятельности моря, особенно при транспортировке обломочного материала, содействуют изменению температур в водоемах, что влияет на распределение органического мира и т. п.

Абразионная деятельность моря в участках с крутыми и пологими берегами заметно отличается. Максимальной интенсивности она достигает у крутых скалистых берегов в штормовую погоду. При этом по мере возникновения обломков разрушающая сила гидравлического удара самой воды резко усиливается обломками, захватываемые волнами, которые дробят скалистые берега. При длительном действии волн **образуется волноприбойная ниша**, а в последующем нависающие над ней породы обрушаются и процесс повторяется.

Таким образом, береговой обрыв постепенно отступает в сторону суши и образуется слабо наклонная к морю **абразионная терраса**, часть которой выступает из воды и называется **пляжем**. При нормальных ус-

ловиях первоначально пляж сложен крупными обломками в виде галек, а постепенно обломки уменьшаются, превращаясь в гравий и песок. Таким образом, иногда характер обломочного материала на пляже указывает на длительность процессов абразии в отдельных участках морских берегов. При устойчивом положении земной коры процесс разрушения крутых берегов происходит (с учетом кривизны поверхности Земли) на расстоянии около 3 км. Скорость разрушения берегов зависит в значительной мере от условий залегания горных пород, а также их прочности. Пласты, наклоненные в сторону моря, разрушаются медленнее, чем пласты, падающие в сторону суши, а горизонтально лежащие — с промежуточной скоростью. Естественно, что слабые горные породы разрушаются быстрее, чем прочные, вследствие чего возникают бухты и мысы. Иногда, при двустороннем действии волн на выступающие участки, образуются гроты, арки и т. д. Таковы, например, Чайковая арка на мысе Тарханкут и Золотые ворота в массиве Карадаг в восточном Крыму. Интенсивность разрушения берегов заметно усиливается при опускании суши, а при повышении базиса абразии разрушение ослабевает. При этом, также как и в речных долинах, образуются морские террасы, вытянутые вдоль береговой линии. Рассмотренные условия разрушения горных пород и определяют, в основном, очертания берегов морей.

В местах развития плоских берегов морской прибой, размывая берега и прибрежное дно, перемещает дно, перемещает продукты разрушения к берегу и накапливает их у уреза воды, превращая абразионный берег в аккумулятивный. Наряду с разрушающей работой отмечается и созидательная его деятельность. Она заключается в переносе и накоплении механических, химических и органических осадков в других участках моря. При этом перенос осуществляется как волновыми движениями воды, так и приливами, отливами и течениями.

Геологическая деятельность озер принципиально сходна с деятельностью морей, но имеет и существенные отличия. Если море все время преобразуется, то озера при определенных условиях могут прекратить свое существование, вследствие усыхания, заполнения осадками и т. д. Этот процесс в значительной мере определяется происхождением озер, т. е. условиями их образования.

По этому признаку выделяются следующие важнейшие типы озер.

Тектонические озера — это такие, которые образовались при заполнении водой понижений, возникших вследствие разрывов в земной

коре и опускания отдельных блоков в виде впадин, грабен. К такому виду озер относятся Байкал, Иссык-Куль (в Киргизии), Телецкое озеро (на Алтае), а также озеро Центральной Африки (Виктория, Ньясса, Танганьика и др.), Мертвое озеро (в Палестине), Великие озера Северной Америки и т. д. Большинство этих озер имеет значительные глубины (Байкал — около 1700м, Иссык-Куль — свыше 600м). К этому же типу относятся вулканические озера, представляющие собой кратеры потухших вулканов, заполненные водой. Обычно эти озера имеют круглые, или близкие к ним очертания — например, маары Франции.

Денудационные озера образовались при заполнении водой понижений, возникших в результате процессов выветривания. К таким озерам относятся многие озера Казахстана и Западной Сибири, представляющие собой блюдца выдувания, заполненные водой, а также карстовые озера, формирующиеся в провалах и пустотах, возникших при растворении пород подземными содами (некоторые озера Приуралья, озера пещер). Особый вид в этой группе составляют ледниковые озера, представляющие собой заполненные водой понижения, образовавшиеся при движении ледников. К этому виду относятся многие озера Карелии, северо-западной России, большинство озер Финляндии.

Запрудные (плотинные) озера образуются при запрудивании долин обвалами или оползнями и последующим заполнением водой. Таким, например, является озеро Рица на Кавказе, некоторые озера Средней Азии. К этому же типу относятся различные водохранилища, созданные в результате инженерной деятельности человека.

Реликтовые озера образуются при отделении части моря от основного бассейна. Такие явления возникают при намыве рыхлых масс горных пород вблизи береговой линии или в дельтах рек, либо при подъеме части земной коры. Первоначально обычно образуются полузамкнутые бассейны — лагуны, которые впоследствии полностью отделяются от моря. Некоторые из таких озер имеют огромные размеры и именуются «морями» — Аральское море (64490 км²), Каспийское море (433700 км²). Следует иметь в виду, что озера бывают проточные, когда поступающая в озеро вода вытекает в виде реки (или рек) и бессточные, в которые вода только поступает. В условиях засушливого климата бессточные озера часто становятся солеными (напр. оз. Балхаш), вследствие того, что при испарении вода постепенно насыщается солями.

При длительном спокойном тектоническом режиме озера постепенно заполняются осадками, зарастают и превращаются в болота, заканчивая, таким образом, цикл своего развития. В болотах обычно происходит интенсивное накопление органического материала.

4.2.4 Геологическая деятельность льда. Существенное воздействие на земную кору, как экзогенный фактор, оказывает лед. Массовые накопления льда происходят выше так называемой снеговой линии, над которой снег, выпадающий в холодное время года, не успевает полностью растаять в летние периоды времени. Такие условия наблюдаются либо высоко в горах, либо в приполярных областях. По мере накопления, уплотнения и частичного таяния снег превращается в кристаллики пористого сложения — **фирновый лед**, а затем в плотную массу льда с пузырьками воздуха, имеющую голубоватый оттенок — **глетчерный лед**. Под давлением вышележащих масс лед приобретает пластичные свойства и, двигаясь по склонам, превращается в **ледник**. Различают горные, материковые покровные и смешанные ледники. Горные ледники образуются в горах и двигаются вниз по склонам, либо по долинам рек. Материковые ледники образуются в полярных областях и отличаются большей мощностью льда и огромными площадями распространения. Так, длина самого большого в мире горного ледника Федченко на Памире достигает 77 км, а площадь покровных ледников Гренландии составляет 1,8 млн. км², а в Антарктиде — 13,5 млн. км². При этом мощность материковых ледников также очень велика — в центральной части Гренландии она составляет 1,9 км, а в Антарктиде превышает 3,0 км. Движущийся лед выполняет огромную механическую работу по разрушению, переносу и отложению разрушенных масс горных пород. По пути движения ледник отрывает обломки пород, которые вмерзают в лед и передвигаются вместе с ледником. Естественно, что обломочные материалы значительно усиливают разрушающую деятельность ледника. Обломки, заключенные в леднике, носят название **морены**. Различают поверхностную, боковую, донную и внутреннюю морены (рис. 4.7).

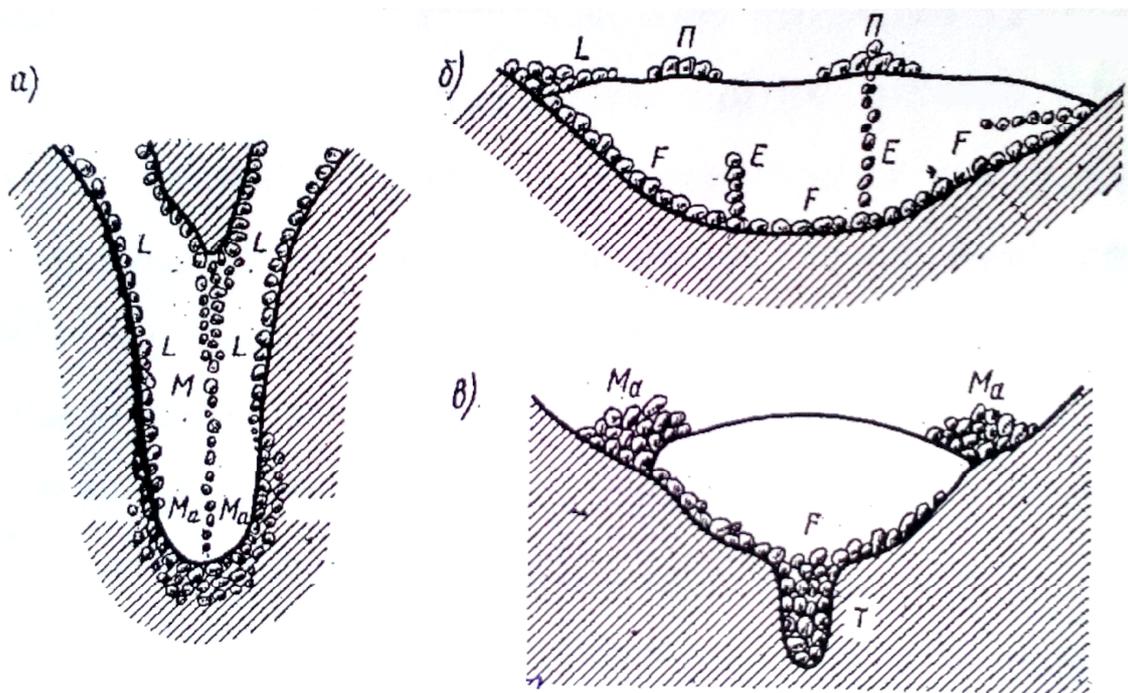


Рисунок 4.7 — Виды морен:

а — ледниковый язык в плане; *б* — то же, в разрезе; *в* — поперечный разрез конечной морены ледникового языка; *М* — срединная морена; *Л* — боковые морены; *П* — донная морена; *Е* — подледниковые; *М_а* — боковые

При давлении ледника по долинам рек вырабатываются особые по форме U — образные, т. наз. **троговые** долины. После таяния ледника эти долины иногда заливаются морскими водами, образуя узкие и глубокие с крутыми берегами заливы, далеко протягивающиеся вглубь суши, т. наз. **фиорды**. Эти формы рельефа широко распространены по побережью Норвегии, на Кольском полуострове и в других местах. На равнинах ледники, интенсивнее разрушая более слабые породы, выпахивают отдельные участки, которые в последующем заполняются водой и образуют озера. После таяния ледника, на месте его максимального распространения накапливается большое количество обломочного материала в виде валов конечной морены, часть которой уносится дальше водными потоками, образующимися при таянии льда и формирует флювиогляциальные (водноледниковые) отложения (от лат. «флювио» — текущий и «гляциос» — лед) с особыми факторами рельефа в виде вытянутых валов, холмистых поверхностей. На протяжении четвертичного периода значительная часть территории Европы и Азии подвергалась неоднократным оледенениям. В пределах европейской части при максимальном распространении языка ледника, двигавшегося с севера, достигали широты г. Днепродзержинска по долине Днепра и устья р. Медведицы по долине Дона. В областях, подвергавшихся оледенению, сформировались

многочисленные озера, болота, а осадочные горные породы характеризуются разнообразным составом и свойствами, что создает значительные трудности при ведении строительных работ. Зона распространения многолетней мерзлоты включает нижнее течение р. Печоры, а за Уралом в азиатской части охватывает почти всю территорию Сибири, Забайкалья и Дальнего востока. На этой территории на определенной глубине горные породы постоянно имеют отрицательные температуры. Мощность мерзлых горных пород в некоторых местах достигает сотен метров. При этом иногда наблюдается слоистая мерзлота, в которой мерзлые горные породы переслаиваются с пластами, имеющими положительные температуры. Верхняя часть территории многолетней мерзлоты на глубину иногда в несколько метров в летнее время оттаивает. Эта часть носит название активной зоны многолетней мерзлоты. Грунты при этом резко уменьшают свою прочность.

В связи с изложенным, строительные и горные работы в зонах многолетней мерзлоты сопряжены с большими трудностями и возникает необходимость применять особые мероприятия при проектировании и строительстве на территориях, занятых многолетней мерзлотой.

4.2.5 Геологическая деятельность атмосферы. Атмосфера также является активным экзогенным фактором, воздействующим на земную кору. В условиях влажного и теплого климата особенно интенсивно развиты процессы химического выветривания. При этом происходит разрушение минералов на значительную глубину. Легко растворимые вещества уносятся водой, а трудно растворимые остаются на месте. Так формируются иногда довольно мощные скопления вновь образованных минералов, которые называются корой выветривания. В областях с теплым и влажным климатом среди новообразований преобладают окислы железа и алюминия и происходит формирование красноцветных почв — латеритов. В условиях засушливого климата химические процессы замедлены, но также имеют место. При попеременном увлажнении и высыхании породы при недостатке влаги, в обломках образуются окислы железа, марганца, алюминия и некоторых других элементов, которые поднимаются к поверхности обломков и образуют защитную корку (загар пустыни) черного или черно-бурого цвета. Вследствие обработки поверхности атмосферной пылью эта корка имеет блестящую поверхность. Значительно интенсивнее проявляется физическое воздействие атмосферы на горные породы. Особенно отчетлива это проявляется в областях пустынь. В этих местах наблюдаются резкие суточные изменения температур, что приводит к возникновению больших напряжений на контактах

зерен минералов с различными свойствами и растрескиванию обломков. Это явление носит название **десквации** (от лат. «десквамацис» — отшелушение). При этом часто отделившиеся обломки с силой отбрасываются от глыб, издавая при этом шуршание или звенящие звуки («шорох пустыни», «песни пустыни»). Наиболее сильно физическое воздействие атмосферы проявляется при ее движении — ветер и также отчетливо наблюдается в областях пустыни. Геологическая деятельность ветра заключается в дефляции, корразии, переносе и аккумуляции обломочного материала. **Дефляция** (от лат. «дефляцио» — надувание, сдувание) представляет собой процесс выноса из трещин пород мелких обломков. Это способствует расширению трещин и дальнейшему разрушению горных пород. Вследствие этого иногда возникают причудливые формы в виде башен, колонн, обелисков и т. д., которые носят название «эоловых городов» (от греч. «эол» — бог ветра). Такой «эоловый город» был открыт академиком В. А. Обручевым в 1906 г. в Китайской Джунгарии.

Корразия (от латинского «корразио» — обтачивание) представляет собой обтачивание, выветривание, шлифование и другую механическую обработку горных пород твердыми частицами, переносимыми ветром. Учитывая, что породы часто характеризуются разнородным составом и свойствами, дефляция, корразия способствуют возникновению своеобразных форм, полировке плотных горных пород. Следует иметь в виду, что даже песчаные частицы, подвергаясь корразии, приобретают овальную или сферическую форму и блестящую поверхность.

Перенос материала ветром осуществляется либо перекатыванием более крупных частиц, либо во взвешенном состоянии (более мелких). Пылеватые частицы при сильном ветре переносятся иногда на огромные расстояния в тысячи километров. Так, известны случаи переноса пыльными бурями частиц из Восточного Казахстана в пределы Украины. При этом иногда переносятся большие массы материала. Например, в 1863 г. из Сахары на Канарские острова была перенесена пыль, масса которой составила около 10 млн. тонн. Более крупные песчаные частицы переносятся (перекатыванием) на значительно меньшие расстояния, но в несравненно больших количествах. Следует иметь в виду, что ураганскими ветрами могут переноситься обломки, измеряемые сантиметрами. Аккумуляция обломочного материала происходит либо на месте образования крупных обломков или вблизи, либо на значительных расстояниях от места образования, если обломочный материал мелкий, и обусловлена ослаблением силы ветра. При этом формируются особые эоловые формы рельефа. Образование тех или иных форм рельефа обусловлено первич-

ным рельефом (горные и равнинные пустыни), устойчивостью и силой ветра, размером обломков и свойствами слагающих их пород, т. е. исходного материала областей пустыни. По последнему признаку выделяются три основных типа пустынь.

Каменистые пустыни — гамады (по арабскому названию каменно-щебнистой пустыни в Северной Африке), которые сложены потными горными породами или их крупными обломками.

Песчаные пустыни сложены в основном песчаным материалом с примесью более крупных частиц. Часто эти пустыни образуются при переработке ветром песчаных аллювиальных отложений.

Глинистые пустыни сложены глинистым материалом, иногда с примесью различных солей (глинисто-солончаковые). Для каждого вида пустынь характерны свои, наиболее распространенные формы рельефа. В каменистых пустынях наблюдаются разнообразные котлы выдувания, отдельные глыбы, столбы и целые «эоловые города». Разнообразны формы рельефа песчаных пустынь. Широко распространены удлиненные холмистые формы — **дюны**, достигающие высоты в несколько десятков метров. Иногда образуются серповидные в плане барханы, достигающие высоты до сотни метров. Например, у ст. Луговая в Казахстане наблюдается бархан высотой около 200 м. Под воздействием ветра частицы песка перекачиваются, что приводит к перемещению дюн и барханов. При изменении направления ветра на длительное время, изменяется и направления движения дюн и барханов (барханы «ходят»). Иногда дюны или барханы сливаются друг с другом, образуя дюнные и барханные **цепи и гряды**. Последние являются наиболее распространенной формой рельефа песчаных пустынь.

Самыми обширными песчаными пустынями являются Кара-кум и Кызыл-кум в Средней Азии. Аналогичные пустынные песчаные формы рельефа наблюдаются также на побережьях морей и в долинах рек. В глинистых пустынях при устойчивых ветрах одного направления возникают желоба глубиной в несколько метров, разделенные грядами. Такие формы рельефа называются **ярдангами** (китайское название). Иногда формируются **долины выдувания** глубиной в десятки метров, шириной в сотни метров и длиной во многие десятки километров (например, в пустыне Гоби в Монголии). На равнинных участках наблюдаются пологие понижения — блюдца выдувания, заполняющиеся иногда водой. При высыхании глинистые породы растрескиваются на многоугольники и возникают **такыры** (туркменское название). Переносимые ветром огромные массы песка и пыли иногда полностью засыпают обрабаты-

мые земли, дороги, каналы, населенные пункты. В связи с этим в последнее время предпринимаются усилия по закреплению движущихся песков и различные мероприятия для сохранения дорог, строений. Иногда в атмосфере зарождаются вихревые воронкообразные движения воздуха, быстро перемещающиеся по поверхности — **смерчи**. В тропических и субтропических областях при ураганных ветрах формируются **тайфуны**, движущиеся с огромными скоростями. Условия зарождения и исчезновения этих вихрей выяснены недостаточно. Они причиняют большой ущерб, вызывая огромные разрушения по пути своего движения.

4.2.6 Геологическая деятельность органического мира. Существенным экзогенным физико-геологическим фактором является деятельность органического мира. В процессе жизнедеятельности организмы оказывают значительное разрушающее воздействие на горные породы. Растения выделяют в атмосферу огромное количество кислорода, что способствует усилению окислительных процессов и химическому разрушению горных пород. Так косвенно проявляется разрушающая деятельность растительного мира. Корневой системой растений выделяются различные кислоты, растворяющие минералы, воздействуя, таким образом, непосредственно на горные породы. Проникая по трещинам в горные породы, корни растений оказывают и механическое воздействие, увеличивая эти трещины. Подобное же воздействие на горные породы оказывают и животные. В прибрежных участках морей различные моллюски, путем растворения и механического воздействия, разрушают горные породы и как бы всверливаются в них, создавая себе ниши для обитания. Значительную механическую работу в глинистых и песчаных породах выполняют различные землерои, перерабатывая многократно огромные массы этих пород. Несравненно отчетливее проявляется аккумулярующая деятельность органического мира. При благоприятных условиях в земной коре накапливаются огромные массы остатков организмов и формируются органогенные осадочные горные породы, составляющие в некоторых местах значительную часть земной коры. Особенно большие скопления образуют неорганические (минеральные) остатки организмов (органогенные известняки, мел, фосфориты и др.), мощность которых достигает сотен, а иногда и тысяч метров. В меньших количествах в земной коре накапливаются органические остатки (торф, угли, нефть, горючие газы и др.), имеющие огромное значение для жизни людей и составляющие основу современной энергетики, играющие значительную роль в развитии химической промышленности и т. д. Особенное значение в последнее время приобретает геологическая деятельность челове-

ка. В результате сжигания большого количества органического топлива в атмосфере накапливается углекислота, различные кислоты, являющиеся активными химическими факторами, влияющими на ход геологических процессов. Значительное влияние на процессы выветривания оказывают разнообразные удобрения, являющиеся важным химическим фактором. Растворяясь в воде, они изменяют химический состав подземных и поверхностных вод, что также способствует более активному химическому воздействию вод на горные породы.

Большой объем инженерно-технических работ горнодобывающих отраслей народного хозяйства, отходы химической и металлургической промышленности, взрывы в мирных и военных целях, сооружение каналов, водохранилищ во многих местах заметно изменяют рельеф, являясь существенными факторами физико-геологических процессов.

4.2.7 Геологическая деятельность подземных вод. Подземные воды, т. е. воды, содержащиеся в горных породах, являются одним из важных экзогенных физико-геологических факторов. Интенсивность их разрушающей деятельности обусловлена тем, что обычно одновременно наблюдается химическое и механическое воздействие вод на горные породы. Химическое воздействие состоит в растворении минералов, а также в интенсивном воздействии образовавшихся минерализованных растворов на горные породы, особенно в связи с тем, что при этом часто образуются легко растворимые минералы. Механическое воздействие сводится к размыву пород, выносу взвешенных частиц, превращению песчаных и пылеватых пород в плавучие массы, а глинистые — в пластичные и текучие. В связи с этим физические свойства некоторых пород резко изменяются, что значительно ухудшает условия ведения строительных работ.

Химическое растворение горных пород подземными водами сопровождается развитием карстовых явлений — (карста), названных так по плоскогорью Карст на полуострове Истрия в Югославии, где эти явления проявлялись очень характерно. Проникая с поверхности по трещинам, вода растворяет горные породы и иногда заметно преобразует рельеф. Формируется так называемый открытый карст. Первоначально образуются воронкообразные углубления — карстовые воронки, которые часто в последующем постепенно заполняются глинистым материалом. В некоторых случаях образуются вытянутые, сравнительно неширокие понижения — долины. При благоприятных условиях образуются обширные понижения в несколько метров глубины, в которых после заиливания формируется почва и они используются для выращивания сельскохозяйственных культур. Такие формы рельефа называются поля. Очень распростра-

ненными являются закрытые формы карста в виде пустот в земной коре — пещер, достигающие иногда глубин во много сотен метров. Наблюдаются галереи, высота которых достигает многих десятков метров. В пещерах часто встречаются подземные озера и реки. Характерными являются такие формы минеральных агрегатов, как сталактиты, столбы. Карстовые пустоты могут образовываться в различных породах, но наиболее распространенным является карбонатный, сульфатный, глиняный и соляной карст. Наиболее распространены карстовые явления в Прикарпатье, горном Крыму, на Кавказе, Предуралье и других местах. Карстовые явления создают значительные трудности для строительства, в связи с чем такие участки подвергаются особенно детальным исследованиям.

Во многих местах на склонах подземные воды ослабляют связи между частицами грунтов, что приводит к отрыву части горных пород от общего массива и смещению их в пониженных участках. Так образуются оползни. Когда склоны бывают крутыми, происходит внезапные обрушения горных пород, сопровождающиеся опрокидыванием и дроблением массивов — обвалы. Иногда при этом смещаются огромные массы горных пород. Так в 1911 г. на Памире произошел обвал, при котором обрушилось около 7–8 млрд. тонн горных пород, образовалась естественная плотина высотой около 600 м и возникло запрудное Сарезкое озеро длиной около 80 км. Оползни хотя и не бывают столь катастрофичными, но приводят к разрушению различных сооружений, дорог и т. д. В оползне различают некоторые элементы, характеризующие особенности оползня. Первоначально образуются трещины отрыва, по которым в последующем происходит смещение масс горных пород. Поверхность, по которой происходит смещение горных масс, называется поверхностью скольжения. Она часто несет на себе следы штриховки, и полировки, возникающих при трении пород во время сползания. В однородных породах поверхность близка к цилиндрической (при расчетах она такой и принимается). В неоднородных породах эта поверхность имеет волнистый характер — вверху более крутая, а внизу более пологая. В связи с этим в верхней части образуется надоползневый уступ. Масса сместившихся горных пород называется оползневым телом. Иногда верхняя часть оползневого типа наклонена в сторону ненарушенного склона и образуется оползневая терраса. Нижняя часть поверхности скольжения, которая выходит на поверхность, называется подошвой оползня. Вертикальное расстояние между поверхностью первоначального положения склона и подошвой называется глубиной захвата. Она изменяется от нескольких метров до многих десятков и даже сотен метров. Форма ополз-

ня и характер оползневого тела зависит от условий его образования. Если подошва оползня находится выше подошвы склона или совпадает с ней, то сползание начинается снизу, после чего верхняя часть теряет упор и также приходит в движение под влиянием собственной силы тяжести. Такие оползни называются деляпсивными (от лат. «деляпсус» — падение). Когда же поверхность скольжения опускается ниже подошвы склона, движение начинается только тогда, когда отделившиеся по трещинам отрыва массы пород преодолевают препятствие в основании и сталкиваются вниз всю массу оползня. Такие оползни называются детрузивными (от лат. «детрузио» — отталкивание). Оба типа оползней обычно встречаются совместно. Характер оползня определяется также условиями залегания горных пород на склоне и их составом. С этой точки зрения выделяют три вида оползней. Поверхность скольжения сечет пласты различного состава. Такие оползни называются инсеквентными (от лат. «секвено» — следующий, «ин» — в). Поверхность скольжения проходит по границе различных пород. Такие оползни называются консеквентными («кон» — совместный). Поверхность скольжения проходит в однородных неслоистых породах. Такие оползни называются асеквентными («а» — не, без). Эти оползни чаще всего наблюдаются в глинистых породах, когда они насыщены водой до пластичного состояния.

Образованию оползней способствует суффозия, состоящая в выносе частиц рыхлых горных пород вытекающими на поверхность подземными водами (от лат. «суффозио» — подкапывание). Развитие оползней происходит особенно интенсивно тогда, когда в массиве на склонах происходит нарушение естественного состояния равновесия, что наблюдается при изменении давлений. В связи с этим при проектировании особенно детально решается задача по сохранению устойчивости склонов и разрабатывается система мероприятий по предупреждению развития оползневых явлений. Для предохранения сооружений от разрушения прибегают к различным защитным мероприятиям. С целью остановки движения сползающих масс горных пород устанавливают шпильки, сваи, подпорные стенки, которые заглубляются ниже поверхности скольжения. В тех случаях, когда оползни вызываются подземными водами, наиболее эффективными мерами среди защитных мероприятий является устройство дренажа и осушение территории. На Украине оползни развиты очень широко. Они наблюдаются во всех речных долинах и горных областях. Особенно большие размеры оползней наблюдаются в горном Крыму, на Кавказе, на Памире и т. д. Распознать существование оползней иногда бывает трудно. Поскольку с поверхности они часто задерновываются и становят-

ся незаметными. Признаками таких скрытых оползней является взбугренная поверхность склонов, «пьяный» лес (стволы деревьев наклонены в разные стороны), интенсивное развитие растительности у подошвы оползней, где наблюдаются выходы подземных вод и т. д. Некоторые горные породы (песчаные, пылеватые) при насыщении водой приобретают свойства очень вязкой жидкости и при вскрытии таких пород стенки выработок оплывают. Такие насыщенные водой породы называются пльвунами. Различают два вида пльвунов — ложные и истинные. Ложные пльвуны переходят в пльвунное состояние под действием гидродинамического давления фильтрующей воды, т. е. при напорном градиенте, численно равном объемной массе грунта, взвешенного водой. Уменьшению внутреннего трения и переходу мелких песков в пльвунное состояние способствует также вибрация. При изменении гидродинамического режима ложные пльвуны перестают быть пльвучими. Истинные пльвуны переходят в пльвучее состояние и при отсутствии или малом значении напорного градиента. В этом случае пльвунность обусловлена минералогическим и гранулометрическим составом песков. Если в мелкозернистых песках присутствуют мелкодисперсные и коллоидные частицы (обычно при определенном содержании глинистых минералов), то они при увлажнении легко переходят в пльвунное состояние. При наличии пльвунов в зоне строительства прибегают к различным мероприятиям, сущность которых сводится к превращению пльвунов в устойчивые массы.

Глинистые породы, насыщенные водой, при определенных условиях обладают свойством тиксотропии, т. е. способностью при толчках, вибрации мгновенно переходить в текучее состояние, что в общих чертах объясняют потерей коллоидными системами своих структур. Это явление создает большие затруднения при ведении строительных работ (особенно в горных выработках). Для предупреждения подобных явлений также необходимо прибегать к осушению горных пород.

Следует иметь в виду, что при наличии подземных вод даже в устойчивых породах (например, скальных трещиноватых) создаются своеобразные условия. При заложении фундаментов ниже уровня подземных вод они будут испытывать давление вверх, обусловленное гидростатическим напором, что должно учитываться при проектировании и ведении строительных работ.

5 ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ (ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ)

5.1 Круговорот воды в природе

Вода прослежена от поверхности Земли до верхней мантии. Ниже водородные связи рвутся и молекулы H_2O не существует.

Подсчитано, что на долю подземных вод приходится 2460 млн. км³. Из них в осадочных породах их содержание составляет 190 млн. км³, в кристаллических — 860 млн. км³.

Природные воды — единственные из полезных ископаемых, запасы которых в результате круговорота непрерывно пополняются. Составными элементами круговорота воды являются: испарение, осадки, сток.

Испарение — обратимый процесс перехода из жидкого или твердого состояния в газообразное, на что затрачивается 23% поступающей на Землю солнечной энергии. Испарение зависит от геологических условий района — характера, структуры и влажности почвы, структурно-текстурных особенностей горных пород, глубины залегания подземных вод.

Осадки. Различают твердые, жидкие и смешанные. К твердым относятся изморозь (кристаллы льда размером до 0,1 мм), иней (кристаллы льда до 0,5 мм), снег (кристаллы в виде снежинок и хлопьев), снежная и ледяная крупа, ледяной дождь, град, гололёд. Жидкими осадками являются роса, дождь, морось. Среди смешанных осадков выделяют: смесь дождя и снега, туман.

Атмосферные осадки участвуют в пополнении (питании) подземных вод.

Практикой подземной разработки месторождений установлена тенденция увеличения водообильности выработок с повышенным выпадением осадков.

По данным А. И. Кравцова на шахтах Донбасса приток воды в горные выработки в течение года изменяется, причем наибольшей величины он достигает в конце апреля и начале мая (220 м³/час при нормальном 85–90 м³/час).

Сток. Выпавшие на Землю атмосферные осадки частично испаряются, а оставшаяся часть образует сток, разделяемый на поверхностный и подземный, возникающий в ходе просачивания (инфильтрации) вод в горные породы через поры и трещины

Процессы взаимодействия между атмосферными и поверхностными водами составляют гидрогеологическую ветвь общего круговорота воды на Земле.

Подземные воды также участвуют в круговороте, образуя сложную подземную ветвь — геологический круговорот. Как форма движения материи, геологический круговорот совершается в виде инфильтрации, фильтрации, взаимодействия воды с горными породами, участвуя в многообразных современных геологических процессах.

Количественно гидрогеологический круговорот для любого района Земли может быть выражен в виде уравнения водного баланса:

Q (осадки) = C (поверхностный сток) + I_n (инфильтрация) + I (испарение);

Водный баланс — это количественное выражение круговорота воды или отдельных его звеньев (осадки, сток, испарение).

Схема круговорота воды в природе приведена на рисунке 5.1.

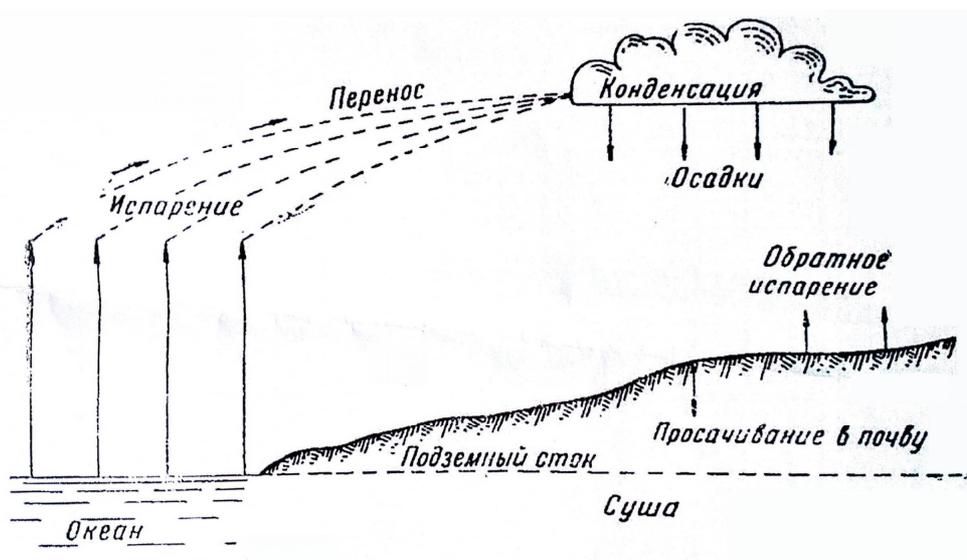


Рисунок 5.1 — Схема круговорота воды в природе

5.2 Основные понятия гидрогеологии

Подземные воды — это воды, находящиеся в верхней части земной коры и залегающие ниже поверхности Земли.

В литосфере вода содержится в крупных полостях, порах и трещинах горных пород, находится в постоянной взаимосвязи с горными породами их включающими, образует водоносные горизонты.

Водоносный горизонт — это часть пласта или пласт, заполненный водой и приуроченный к регионально выдержанным водопроницаемым

породам, однотипным по гидрогеологическим признакам и имеющим общую гидравлическую или пьезометрическую поверхность.

Водоносные породы — это пласты, линзы и другие формы залегания пород, в которых поры, пустоты и трещины заполнены гравитационной водой.

Водоносный пласт — выдержанный по мощности и распространению одновозрастный пласт породы с относительно однородными водоносными и фильтрационными свойствами.

Водоносный комплекс — толща горных пород, состоящая из нескольких водоносных горизонтов с разделяющими их относительно водоупорными слоями или пластами, рассматриваемая как единая гидродинамическая система.

Гидрогеологический бассейн — совокупность водоносных и относительно водоупорных горизонтов и комплексов, выделяемых по общим условиям формирования, состава и свойств заключенных в них вод.

Водоупорные породы не пропускающие воду или слабопроницаемые; подстилающие водоносный горизонт называются водоупорной почвой, а перекрывающие — водоносной кровлей.

Область, в пределах которой распространен водоносный горизонт, называется **площадью или областью распространения**.

Область, где подземные воды вытекают из водоносного горизонта, называется **областью разгрузки или дренажа**, а площадь, где происходит питание водоносного горизонта — **областью питания**. Расстояние от уровня подземных вод (гидравлического или пьезометрического) до водоупорной почвы называется **мощностью водоносного горизонта**.

5.3 Состав и свойства распространения подземных вод.

Виды воды в горных породах.

Кроме поверхностных вод в виде рек, водоемов, ледников значительная часть вод находится в верхней части земной коры и носит название подземных вод. В зависимости от видов воды в горных породах, физических свойств и химического состава, условий образования и распространения подземных вод изменяется их воздействие на горные породы земной коры. Подземные воды являются одним из активнейших физико-геологических факторов, воздействующих на горные породы и оказывающих большое влияние на условия ведения строительных работ и эксплуатацию сооружений. В связи с этим при подготовке материалов для проектирования и строительства гидрогеологические исследования

имеют особое значение. Это вызывает необходимость более детального рассмотрения влияния подземных вод на горные породы.

Вода в горных породах находится в трех фазовых состояниях: парообразном, жидком и твердом (лед). С точки зрения связи воды с минеральными частицами выделяются три вида воды — химически связанная, физически связанная и свободная.

Химически связанная вода — это такая вода, при удалении которой происходит либо разрушение структуры минерала, либо заметное изменение его свойств (оптических и др.). Среди химически связанной воды выделяют три разновидности: конституционная, кристаллизационная и цеолитная. Конституционная вода входит в состав минералов в виде гидроксильной группы OH и характер воды в виде молекул H_2O приобретает только при разрушении структуры минерала, вследствие нагревания свыше 300°C (иногда до 1000°). Кристаллизационная вода входит в состав минералов в виде молекул H_2O , занимая в кристаллической решетке определенное место (напр. гипс — $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и удаляется с разрушением кристаллической решетки при нагревании в узком интервале температур около 300°C . Цеолитная вода заполняет пустоты в кристаллической решетке и выделяется без разрушения решетки в широком температурном интервале (от иногда ниже 100°C до около 300°C).

Физически связанная вода — это такая вода, которая удаляется при переходе ее в парообразное состояние и это не влечет за собой изменения в минералах. Поверхность минеральных частиц обладает отрицательным зарядом, а молекулы воды представляют собой диполи, располагающиеся ориентированно у поверхности минеральных частиц. Этот вид воды разделяется на два подвида: прочносвязанную (гигроскопическую) и слабосвязанную (пленочную). Гигроскопическая (или адсорбированная) вода образует при максимальной гигроскопичности сплошной ряд молекул, который удаляется при переходе в парообразное состояние. Пленочная (молекулярная) вода образует вокруг минеральных частиц ряды молекул. Эта вода может перемещаться при соприкосновении частиц от более толстых пленок к меньшим.

Свободная вода — это такой вид воды, которая не связана с минеральными частицами и может передвигаться в горных породах. Этот вид воды также разделяется на два подвида: капиллярная и гравитационная. Капиллярная вода, смачивая стенки мелких пор и трещин, может подниматься по ним под влиянием капиллярных сил. При этом, например, в песках высота капиллярного поднятия составляет не более нескольких десятков сантиметров, а в глинах — несколько метров.

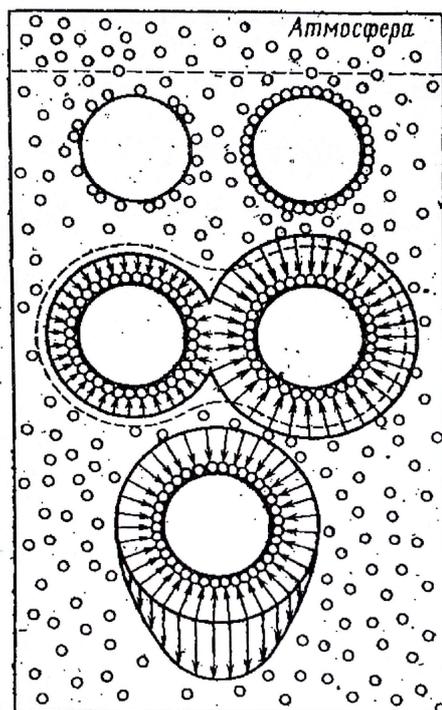


Рисунок 5.2 — Схема различных состояний воды в грунтах (по А. Ф. Лебедеву). Вверху слева частицы грунта с неполной гигроскопичностью; справа — частицы грунта с полной гигроскопичностью; в середине — частицы грунта с пленочной водой (частица справа окружена пленкой максимальной толщины, вода от нее движется к частице слева, окруженной более тонкой пленкой, это движение продолжается до тех пор, пока толщины пленок на обеих частицах не станут одинаковыми); внизу — частица грунта с гравитационной водой

Гравитационная (подвешенная) вода не связана ни с поверхностью минеральных частиц, ни с капиллярными силами и свободно перемещается в горных породах под действием сил тяжести или гидравлического напора.

Совершенно естественно, что каждый из видов воды по-своему оказывает воздействие на состояние и свойства горных пород. Химически связанная вода обуславливает определенную структуру минералов и ее удаление приводит к разрушению минералов, следовательно и к полному изменению свойств вещества. Физически связанная вода также иногда существенно влияет на свойства горных пород. Например, глины в сухом состоянии являются довольно прочными породами, а при наличии гигроскопической или пленочной воды они превращаются в пластичные или даже текучие массы. Свободная вода способствует растворению минералов, а при определенных условиях (больших скоростях движения) и механическому размыву пород и образованию пустот.

Схема различных состояний воды в грунтах приведена на рисунке 5.2.

Классификация подземных вод достаточно разнообразна и включает в себя тип залегания, область питания и распространения, характер напо-

ра и движения потока, происхождение и геологические условия залегания, климатическую зональность, температуру, геохимическую зональность, химизм.

Классификация подземных вод (по Ф. П. Саваренскому) приведена в таблице 5.1.

5.4 Физические свойства подземных вод

Физические свойства подземных вод во многом определяют возможность их использования для питьевых и технических целей, а иногда оказывают влияние на разрушение горных пород. Важнейшими физическими свойствами подземных вод являются: удельный вес, прозрачность, цвет, запах, вкус, температура, электропроводность, радиоактивность.

Удельный вес чистой воды принимается равным 1, но иногда он отклоняется от этой величины. Изменение удельного веса воды происходит, главным образом, вследствие растворения в ней различных солей.

Прозрачность воды обусловлена количеством растворенных в ней минеральных солей, коллоидов, органических веществ, механических взвесей. Совершенно чистая вода прозрачна, но наличие указанных примесей приводит к ее помутнению. Численно прозрачность определяется в сантиметрах водяного столба в цилиндре, позволяющего читать текст. Для общей оценки прозрачности воды применяют четырехступенчатую шкалу: прозрачные, слегка мутные, мутные, очень мутные воды. **Цвет** воды также зависит от содержания в ней растворенных веществ и взвесей. Чистая вода бесцветна и только в больших массах имеет голубоватый оттенок, но наличие примесей придает ей определенную окраску. Так, например, вода, содержащая окислы железа приобретает ржавый цвет, гуминовые кислоты — желтый, соединения марганца — черный, сероводород — голубоватый. Интенсивность окраски воды, так же как и прозрачность, определяется в сантиметрах водяного столба. Запах воды зависит преимущественно от деятельности бактерий, разлагающих органические вещества. Обычно подземные воды не имеют запаха, но воды, содержащие сероводород, приобретают запах тухлых яиц, богатые гуминовыми кислотами — специфический болотный запах и т.д. Вкус воды обусловлен определенным содержанием в ней различных веществ. Так, содержащиеся в воде растворенные хлориды придают ей соленый вкус, сульфаты — горько-соленый, азотистые соединения органического происхождения — сладковатый, сульфидные соединения — кислый и т.д. Растворенный в воде гидрокарбонат кальция придает ей приятный для питья вкус.

Таблица 5.1

Классификация подземных вод (по Ф. П. Саваренскому)

Тип залегания	Область питания и область распространения	Характер напора	Характер движения потока	Происхождение	Геологические условия залегания	Климатическая зональность	Температура	Геохимическая зональность	Химизм
Почвенные, болотные, верховодка	Совпадают (воды близкие к поверхности)	Нисходящие ненапорные	Ламинарные	Вадозные	Поверхностные образования	Интразональные	С резким сезонным колебанием температур	Зона выщелачивания и местами зонального засоления	Пресные, местами засоленные
Грунтовые	Обычно совпадают (воды неглубокие)	Нисходящие ненапорные изредка с местным напором	Преимущественно ламинарные		Поверхностные отложения и верхние слои коры выветривания	Зональные	То же	То же	То же
Карстовые	Близкие (воды обычно неглубокие)	Обычно нисходящие, ненапорные	Преимущественно турбулентные		Известняки, доломиты и др., легко выщелачивающиеся породы	Азональные	Обычно непостоянный температурный режим	Зона выщелачивания	Пресные, обычно жесткие

Продолжение табл. 5.1

Тип зале- гания	Область питания и область распро- странения	Характер напора	Характер движения потока	Происхо- ждение	Геологи- ческие ус- ловия за- легания	Климати- ческая зо- нальность	Темпера- тура	Геохими- ческая зо- нальность	Химизм
Артезиан- ские	Не совпа- дают (во- ды пре- имущест- венно глу- бокие)	Восходя- щие, напор гидроста- тический	Ламинар- ный в рыхлых породах, может быть тур- булентный в трещи- новатых породах		Структуры осадочных пород (бассейны)		Постоян- ная темпе- ратура, по- вышаю- щаяся с глубиной	Зона вы- щелачива- ния и це- ментации	Пресные, иногда минерали- зованные
Жильные и трещин- ные	То же	Восходя- щие, напор гидроста- тический или газо- вый	Преиму- щественно турбу- лентный	Вадозные и юве- нильные	Преиму- щественно зоны тек- тониче- ской тре- щиновато- сти		Темпера- тура в за- висимости от глуби- ны	Зона це- ментации	Пресные и минераль- ные

Температура подземных вод является очень важным показателем физических свойств. Она определяет не только возможности использования подземных вод, но также и характер их воздействия на горные породы. Воды, имеющие высокую температуру, обычно являются активными растворителями и способствуют интенсивному разрушению минералов. Температурный режим подземных вод изменяется в широких пределах. Насыщенные солями воды в зонах многолетней мерзлоты имеют значительные температуры, а в районах действия горячих источников их температура иногда превышает $+100^{\circ}\text{C}$. По температурному режиму воды разделяются обычно следующим образом: очень холодные (менее $+10^{\circ}\text{C}$), холодные (от $+10$ до 20°C) и термальные (выше $+20^{\circ}\text{C}$), в т. ч. субтермальные (от $+20$ до $+35^{\circ}\text{C}$), термальные (от $+32$ до $+42^{\circ}\text{C}$) и гипертермальные (выше $+42^{\circ}\text{C}$). Следует отметить, что содержание в воде газов и растворимость солей (за исключением NaCl и CaCO_3) уменьшаются по мере увеличения температур.

Электропроводность подземных вод обусловлена количеством растворенных в них солей и других соединений. Воды, которые не содержат в себе этих веществ, оказывают значительное сопротивление электрическим токам. Содержание в воде растворенных солей преобразует их в электролиты с высокой электропроводностью. На этом признаке, между прочим, основаны электрические методы поисков подземных вод.

Радиоактивность подземных вод обусловлена содержанием радона (эманации радия). Особенно значительные концентрации радона наблюдаются в водах, залегающих в некоторых участках гранитных массивов. Например, Цхалтубо (на Кавказе), Хмельник и Белая Церковь (на Украине) и др. Такие воды широко используются для лечебных целей.

5.5 Химический состав подземных вод

Химический состав подземных вод во многом определяет их свойства и возможности использования, а иногда оказывает существенное влияние на металл и бетон сооружений. В связи с этим при подготовке материалов для строительства изучение химического состава подземных вод имеет особо важное значение. Химический состав подземных вод характеризуется реакцией воды, количеством и соотношением ионов, жесткостью, общей минерализацией и некоторыми другими показателями.

Реакция воды выражается концентрацией водородных ионов (рН). Вследствие диссоциации воды образуются ионы H^+ и OH^- , причем кон-

центрация водородных к гидроксильных ионов при определенной температуре всегда постоянна ($1 \cdot 10^{-7}$).

Концентрация водородных ионов определяется десятичным логарифмом, взятым со знаком +, т. е. для нейтральной среды $pH=7$. Вода, имеющая кислую реакцию, содержит больше гидроксильных ионов. В связи с этим для кислой среды $pH < 7$, а для щелочной $pH > 7$.

Содержание ионов различных химических элементов и их соотношение характеризует общий химический состав растворенных в воде веществ и, следовательно, химическую активность подземных вод. С этой точки зрения выделяются ряд ионов, являющихся важнейшими для оценки состава вод и их свойств. Важнейшими катионами являются Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , NH_4^+ и др., а анионами — Cl^- , SO_4^{--} , NO_2^- , NO_3^- и др. Для оценки свойств воды важным является не только общее содержание, но и соотношение отдельных ионов.

Жесткость воды характеризует особые ее свойства — образование накипи. Она обусловлена наличием ионов главным образом Ca^{2+} , Mg^{2+} .

Различают три вида жесткости воды. Общая жесткость характеризует суммарное содержание этих катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} в воде. **Временная (устраняемая) жесткость** определяется содержанием катионов, осаждающихся при кипячении и разрушении гидрокарбонатов. **Постоянная (остаточная) жесткость** оценивается количеством этих катионов, остающихся в растворе после кипячения. По этому признаку обычно выделяют воды: очень мягкие (до 1,5 мг.экв/л), мягкие (1,5–3), умеренно-жесткие (3,0–6,0) и очень жесткие (9 и более).

Общая минерализация характеризует общее количество растворенных в воде веществ. В самом простом виде она выражается в граммах веществ, растворенных в 1 литре воды. По этому признаку выделяют следующие виды вод:

- пресные — до 1г/л,
- солончатые — 1–10г/л,
- соленые — 10–50г/л,
- рассолы (рапа) — более 50г/л.

Сухой остаток представляет собой количество веществ в твердом состоянии, остающихся в осадке после полного выпаривания воды при температуре $105^\circ C$. Численно он всегда несколько меньше общей минерализации, т. к. при выпаривании улетучиваются растворенные в воде газы и некоторые летучие вещества.

Точное определение общей минерализации производится на основании пересчета результатов химических анализов.

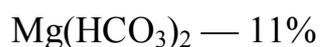
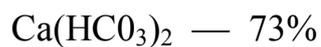
Графическое изображение результатов анализов.

Изобразим химический состав подземной воды в виде колонки-диаграммы (рис. 5.3), графика-квадрата Н. И. Толстихина, формулы М. Г. Курлова.

Установление возможного солевого состава воды.

Для выявления возможного солевого состава воды строим колонку-диаграмму, на которой слева наносим содержание катионов, справа — анионов в % мг экв/л. Их содержания изображаются в виде отдельных участков, пропорциональных количеству иона. Причем от нулевой отметки откладывается преобладающий в анализе ион. Дальнейшая последовательность отражает порядок их убывания.

Возможный солевой состав воды в соответствии с рисунком следующий (в % мг экв/л):



Это свидетельствует об электронейтральности раствора.

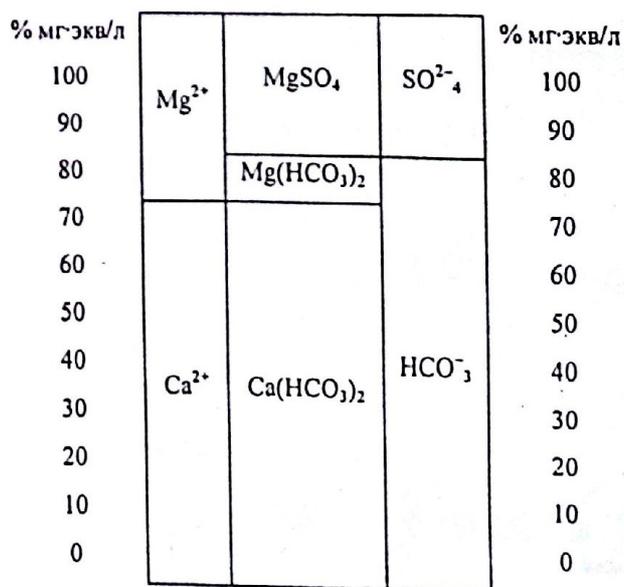


Рисунок 5.3 — Колонка-диаграмма возможного солевого состава воды

Выражение химического состава воды в виде формулы М. Г. Курлова. В общем виде формула М. Г. Курлова имеет вид:

$$S_p, S_c, M \frac{HCO_3^- SO_4^{2-} Cl^-}{Na^+ Mg^{2+} Ca^{2+}} T^\circ C, pH,$$

где S_p — редкие элементы в г/л;

S_c — свободные газы в г/л;

M — общая минерализация воды в г/л;

HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^- — анионы в % мг·экв/л;

Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} — катионы в % мг·экв/л;

$T^\circ C$ — температура воды;

pH — окислительно-восстановительный потенциал.

В формулу не вносятся анионы и катионы, содержание которых меньше 10%.

Для построения графика-квадрата Н. И. Толстихина вычерчивается квадрат со сторонами 10×10 см и делается разметка через 10% мг·экв/л с указанием наиболее часто встречающихся катионов $Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}$ и ионов HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^- (рис. 5.4). На график выносятся максимальные значения содержания катионов и анионов в мг·экв/л, по которым дается название воды — в данном случае — гидрокарбонатно-кальциевая.

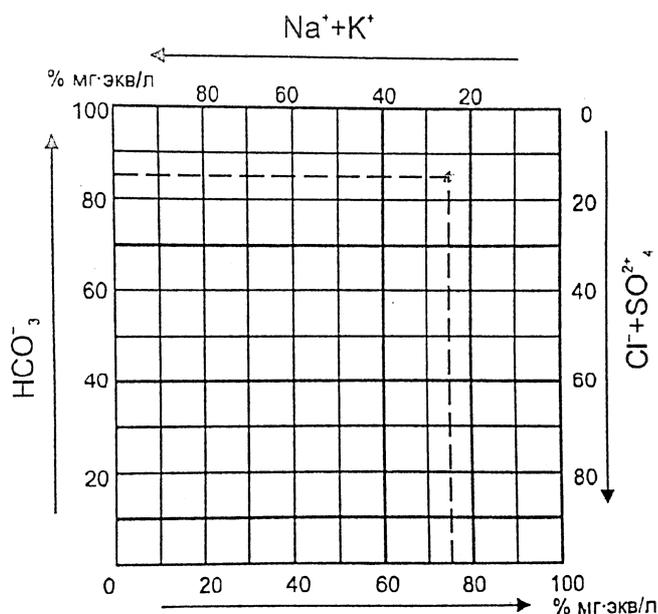


Рисунок 5.4 — График-квадрат Н. И. Толстихина

Агрессивность воды и ее виды.

Подземные воды определенного химического состава могут оказывать разрушающее действие на бетонные и металлические конструкции. Такая вода считается агрессивной.

В зависимости от присутствия в воде тех или иных компонентов различают пять типов агрессивности подземных вод.

Сульфатная агрессия определяется содержанием ионов SO_4^{2-} . При избытке иона SO_4^{2-} происходит кристаллизация в бетоне новых соединений: образуется гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ с увеличением объема на 100 % и сульфаталюминат кальция (бетонная бацилла) с увеличением объема в 2,5 раза, что приводит к разрушению бетона. Вода агрессивна к бетону при содержании иона SO_4^{2-} свыше 250 мг/л.

Углекислая агрессивность. При воздействии агрессивной угольной кислотой происходит растворение и вынос из бетона $CaCO_3$ — основной составной части цемента. При избытке CO_2 наблюдается переход $CaCO_3$ в $Ca(HCO_3)_2$, который легко растворяется и выносится из бетона.

Избыток CO_2 (>20 мг/л) называется агрессивной углекислотой, зависит от бикарбонатной щелочности и содержания ионов Ca^{2+} и Cl^- .

Агрессивность выщелачивания (бикарбонатная щелочность) происходит за счет растворения и вымывания из бетона извести $CaCO_3$ при малом содержании в воде иона HCO_3^- . Воды, содержащие менее 30 мг/л связанной углекислоты и обладающие жесткостью менее 1,4 мг·экв/л, считаются агрессивными, независимо от других показателей.

Магнезиальная агрессивность приводит к разрушению бетона при повышенном содержании магния.

Общекислотная агрессивность зависит от концентрации pH . Вода обладает общекислотной агрессивностью при $pH \leq 6,5$.

5.6 Качество подземных вод

На основании определения физических свойств и химического состава подземных вод оценивается их качество. Качественная характеристика включает в себя оценку возможности использования этих вод для питьевых целей, технических нужд, а также характер их разрушающего действия на металл и бетон сооружений. Решение этих вопросов имеет большое значение при крупном строительстве, поскольку в некоторых случаях подземные воды являются главным (а иногда и единственным) источником водоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов. Кроме того, некоторые воды оказывают разрушающее воздействие

на металл подземных коммуникаций и бетон оснований сооружений, что создает неблагоприятные условия их эксплуатации и требует дорогостоящих мероприятий по защите этих объектов от вредного воздействия подземных вод. **Питьевые воды** должны обладать такими свойствами, при которых они не оказывали бы вредного воздействия на организм человека и домашних животных. Эти воды должны быть прозрачными на вкус. Сухой остаток не должен превышать 1 г/л, а общая жесткость — 7 мг/экв.л. Температура воды в пределах 6–15°C. Особенно вредные для организма являются соли тяжелых металлов, поэтому в воде не должны присутствовать соединения меди, цинка, мышьяка, ртути, а также сероводород и органические соединения, особенно фенолы. Эти воды должны быть здоровыми в бактериологическом отношении, т. е. коли-титр должен составлять 300 куб.см и более (соответственно коли-тест — менее 3).

Технические воды должны отвечать требованиям, предъявляемым к ним определенными видами производства. Общими для всех технических вод являются их бесцветность, прозрачность, отсутствие запаха, мягкость, незначительная общая минерализация. Но для отдельных видов производства требования к техническим водам могут существенно изменяться. Так, например, вода, используемая в паровых котлах, должна иметь сухой остаток не более 300 мг/л, иона хлора не выше 200 мг/экв.л, жесткость не выше 1,8 мг/экв.л. Вода, используемая для орошения, должна иметь сухой остаток не более 1,7 г/л, а при хорошо проницаемых почвах — до 4 г/л. Иногда для оценки вод, используемых для орошения применяется эмпирически выведенный ирригационный коэффициент, учитывавший соотношение различных ионов (прежде всего натрия, хлора, сульфатов). В тех случаях, когда воды не соответствуют требованиям, иногда прибегают к мерам по улучшению их качества. Чаще всего при этом производится осветление, умягчение и обеззараживание вод. Осветление заключается в удалении из воды взвешенных частиц, коллоидов и органических веществ. Вода подвергается фильтрации, а иногда и химической обработке. Умягчение состоит в уменьшении в воде содержания ионов щелочных металлов. Для этого используются различные поглотители, а также химические реагенты. Обеззараживание производится с целью уничтожения болезнетворных бактерий. При этом используются либо различные окислители, либо (чаще) осуществляется хлорирование воды. Следует иметь в виду, что подземные воды почти всегда более благополучны по бактериологическому составу, чем поверхностные.

При оценке вод, используемых для питьевых целей, особое значение имеет бактериальный состав вод. В воде всегда содержится большое количество различных бактерий, среди них и болезнетворные. Использование для питья вод, содержащих болезнетворные бактерии, приводит к заболеваниям, возникновению эпидемий. Для оценки бактериологического состава используется определение количества палочек бацилл коли. Сами эти бактерии не являются болезнетворными, но их присутствие в воде в значительных количествах указывает на возможное присутствие болезнетворных бактерий. Для оценки бактериального состава вод применяют показатели: коли-титр и коли-тест. Коли-титром называется количество воды в куб.см на которое приходится одна палочка коли. Коли-тест — это количество палочек бактерий коли, содержащихся в 1 литре воды. По санитарным нормам, принятым в нашей стране, коли-титр должен составлять не менее 300 куб.см, а коли-тест не более 3.

5.7 Зональность подземных вод

Определяется в зависимости от глубины залегания распространения подземных вод. Самая верхняя часть земной коры — от поверхности Земли до зеркала грунтовых вод носит название зоны аэрации (от латинского «аэр» — воздух). В этой зоне распространены воды в виде паров, пленочных и капиллярных вод и всегда содержится воздух в пустотах.

Гравитационные воды в этой зоне появляются обычно вследствие просачивания или при образовании сезонных вод. Глубина этой зоны определяется климатическими условиями территории, а также составом и сложением горных пород. Ниже располагается зона насыщения, в которой поры и трещины горных пород заполнены гравитационными водами. В этих условиях происходят смена накопившихся вод вновь поступающими. Этот процесс называется водообменом. Здесь выделяются три гидродинамические зоны, характеризующиеся определенными условиями движения и химическим составом подземных вод.

1. Зона интенсивного водообмена распространена до глубины 300–400 м., изредка глубже. Воды в этой зоне часто дренируются реками и водоемами. Полный водообмен осуществляется за тысячи и десятки тысяч лет. Подземные воды этой зоны по происхождению обычно инфильтрационные, слабо минерализованные (пресные), по составу гидрокарбонатно-кальциевые.

2. Зона замедленного водообмена распространена до глубины 3–4 км иногда больше. Водообмен происходит за десятки или сотни тысяч

лет. Чаще всего здесь распространены седиментационные и реже инфильтрационные воды. В большинстве своем они значительно минерализованные (солончатые и соленые), по химическому составу гидрокарбонатно-натровые, сульфат-натровые и сульфат-натрово-кальциевые.

3 Зона весьма замедленного водообмена распространена до глубины около 10–15 км. Ниже, по-видимому, вода находится в виде пара. Эта зона полностью изолирована от поверхности и атмосферных вод. Здесь распространены древние погребенные и метаморфизованные воды (рассолы) с общей минерализацией до 300–650 г/л. По составу воды хлоридно-кальциево-натровые, хлоридно-магниево-натровые. Часто содержат бром, йод и другие элементы.

5.8 Распространение подземных вод.

Для оценки условий распространения подземных вод, выявления областей их формирования и накопления осуществляют гидрогеологическое районирование участков земной коры. При этом выделяют регионы со сходным гидродинамическим режимом и, следовательно, с близкими по составу подземными водами. Важнейшее значение для гидрогеологического районирования имеет строение участков земной коры и характер рельефа местности, а иногда и состав горных пород. В схематическом виде выделяются следующие гидрогеологические регионы.

1. Артезианские бассейны платформ и впадин.

а) Артезианские бассейны, обладающие благоприятными условиями питания и стока артезианских вод. Примером такого залегания подземных вод может служить Восточноукраинский артезианский бассейн, расположенный на территории Днепровско-Донецкой впадины. Глубина бассейна достигает 600 м. Водообмен происходит примерно за 50 тыс. лет.

б) Артезианские бассейны с крайне медленным стоком или совсем бессточные (весьма замедленный водообмен). Примером такого бассейна может служить бассейн южного склона Балтийского щита и центральной части Московской синеклизы в пределах кембрийских и силурийских отложений.

2. Артезианские бассейны межгорных впадин и синклиналичных структур горных сооружений. Такие бассейны могут характеризоваться различной мощностью и количеством водоносных горизонтов. Примером сравнительно малого бассейна такого типа может служить карагандинский, а мощного — Копетдагский артезианский бассейн, располо-

женный до глубины около 1500 м и характеризующийся значительной водообильностью. Нижние водоносные горизонты бассейна находятся в зоне замедленного водообмена.

3. Грунтовые воды речных долин. Воды залегают в верхней части зоны интенсивного водообмена и частично в зоне аэрации. В связи с этим почти все воды пресные. Бассейны и потоки характеризуются незначительными размерами и водообмен происходит иногда на протяжении сезона. Запасы вод в отдельных участках сравнительно небольшие, но они имеют большое значение, поскольку традиционно используются населением для питьевых и хозяйственных нужд. К этому типу гидрогеологических бассейнов относятся все воды речных долин, залегающих в виде узких полос, вытянутых вдоль русел рек.

4. Воды галечников межгорных долин. В некоторых местах характеризуются наличием напора, вследствие подтока вод из крутых склонов долин. Залегая в породах с хорошей водоотдачей, отличаются быстрым водообменом. По химическому составу пресные с хорошими питьевыми качествами. Иногда характеризуются значительными запасами, вследствие постоянного пополнения. Примером таких бассейнов являются воды долин р. Арагви на Кавказе и др.

5. Воды межгорных низменностей. Бассейны этого типа характеризуются значительными площадными размерами и при благоприятных климатических условиях большими запасами. Иногда воды слабо напорные. По составу пресные. Примером таких бассейнов являются воды Ферганской долины, р. Кура — Араксинской низменности и др.

6. Грунтовые и напорные воды ледниковых отложений. Распространены широко в областях прошлых оледенений и в конечных моренах современных ледников. По составу, с низкими температурами, обладают приятными вкусовыми качествами. Почти всегда залегают в виде линз и линзообразных залежей. Иногда обладают незначительным напором. После выработки статических запасов (накопленных при образовании отложений) водообильность резко уменьшается, т. к. пополнение их происходит только за счет атмосферных осадков. К этому типу относятся грунтовые воды Белоруссии, Прибалтики, северо-западных областей России, Карелии и др.

7. Воды карстовых областей. Залегают в виде подземных озер и рек. В зависимости от состава карста могут быть пресными, солоноватыми, солеными. По химическому составу гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные. Обычно располагаются в зоне интенсивного водообмена, а вы-

сокая минерализация объясняется легкой растворимостью пород, в которых они залегают. Эти воды широко распространены в горном Крыму, Предуралье и др. В формировании таких бассейнов важнейшая роль принадлежит составу горных пород.

5.9 Использование подземных вод

С точки зрения использования подземные воды разделяются на три класса: питьевые, технические и природные минерализованные воды. Питьевые воды всегда пресные с невысокой температурой, используются для питья, приготовления пищи. Они располагаются в зоне свободного и реже замедленного водообмена в различных горных породах. Технические воды используются для различных технических целей, в большинстве также пресные (изредка солоноватые), залегают в зоне интенсивного и замедленного водообмена. Природные минерализованные воды характеризуются различной соленостью и температурным режимом и связаны с различными гидродинамическими зонами. К ним относятся собственно минеральные воды, которые оказывают благотворное влияние на организм человека, используются в бальнеологических (лечебных) целях. В этой группе различают: углекислые воды (нарзаны) — пресные воды, приуроченные к зонам молодых интрузивных массивов; сероводородные (сульфатные), часто связанные с нефтяными месторождениями; радиоактивные — обогащенные эманациями радия (радоном) и приуроченные к кислым интрузивным массивам. К этому же классу относятся промышленные минерализованные воды, характеризующиеся высокой степенью минерализации и рассолы и используемые для промышленного извлечения из них брома, иногда и других элементов. Они располагаются в зоне весьма замедленного водообмена и часто связаны с нефтяными месторождениями. В этом классе различают такие термальные воды, характеризующиеся высокими температурами и используемые как технические, промышленные, а иногда и минеральные (лечебные) воды. Они распространены преимущественно в зонах современной вулканической деятельности и связаны с эффузивными горными породами.

Динамика подземных вод

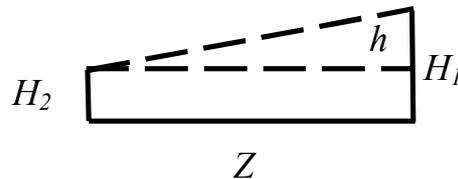
5.10 Виды движения подземных вод.

При оценке влияния подземных вод на ход физико-геологических процессов в земной коре и их воздействия на подземные части сооруже-

ний во внимание принимаются только гравитационные воды, которые передвигаются по трещинам и пустотам горных пород над влиянием силы тяжести или гидравлического напора. В горных породах отмечается два вида движения подземных вод: ламинарное и турбулентное. **Ламинарное (струйчатое)** — это такой вид движения, при котором вода движется параллельными непрерывными струями с небольшой скоростью. Этот вид движения характерен для зернистых и тонкотрещиноватых пород. При этом движение осуществляется в соответствии с законом, открытым французским гидравликом Дарси. В общих чертах закон Дарси может быть сформулирован так: количество воды, проходящей через породу за единицу времени (Q) прямо пропорционально площади поперечного сечения потока F и скорости движения воды (v), т. е. оно выражается формулой

$$Q = Fv.$$

Но количество воды проходящей через определенное сечение, зависит также от напорного градиента (I), т. е. падения напора на единицу пути движения подземного потока.



$$I = \frac{H_1 - H_2}{Z} = \frac{h}{Z},$$

где $H_1 - H_2 = h$ — разность напора в двух сечениях потока,

Z — расстояние между сечениями. Поэтому закон Дарси может быть выражен также формулой:

$$Q = FIk,$$

где k — коэффициент пропорциональности, зависящий от водопроницаемости (фильтрации) горных пород (коэффициент фильтрации). Разделив обе части уравнения Дарси на площадь сечения (F) получим:

$$\frac{Q}{F} = v$$

или

$$\frac{Q}{F} = kI,$$

следовательно $v = kI$, т. е. скорость фильтрации прямо пропорционально коэффициенту фильтрации и напорному градиенту. Если принять $I = 1$, то $v = k$, т. е. коэффициент фильтрации численно равен скорости движения воды при градиенте напора, равном единице. Но эта скорость (v) является фиктивной (приведенной), т. к. площадь поперечного сечения (F) в формуле принята равной площади поперечного сечения потока, а в действительности вода продвигается только по порам и действительная площадь потока равна общей площади пор, т. е. $F_1 = Fp$, где F_1 — действительная площадь потока, P — пористость грунта. Поэтому истинная скорость всегда больше фиктивной, т. к. P всегда а меньше 1.

Турбулентное (вихревое) движение характеризуется большими скоростями, что местами вызывает нарушение сплошности потока. Такой вид движения вод наблюдается в грубообломочных и крупнотрещиноватых породах. Характер турбулентного движения в самом простом виде выражается формулой Шези-Краснопольского

$$v = c\sqrt{RI},$$

где c — некоторый эмпирический коэффициент,

R — гидравлический радиус, равный отношению площади действительного (истинного) сечения потока к смоченному периметру. Если заменить выражение $c\sqrt{RI}$, через k , то

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

т. е. скорость фильтрации при турбулентном движении прямо пропорциональна коэффициенту фильтрации и напорному градиенту в степени $\frac{1}{2}$. Общие положения законов движения подземных вод используются при различных расчетах, связанных с ведением строительных работ при наличии подземных вод.

5.11 Условия образования подземных вод

Для оценки режима подземных вод и их влияния на условия строительства и эксплуатацию сооружений необходимо выяснение условий их образования (накопления) в земной коре. Подземные воды образуются при различных условиях, но наиболее распространенными являются следующие виды вод.

Инфильтрационные — это такие воды, которые накапливаются в горных породах при просачивании (инфильтрации) из поверхности при

выпадении осадков, а также из водоемов и водотоков. Это наиболее распространенный способ формирования подземных вод. Учитывая, что во многих местах верхней части земной коры горные породы являются пористыми и трещиноватыми, значительная часть поверхностных вод проникает в горные породы, где они накапливаются в огромных количествах.

Конденсационные — это такие воды, которые формируются при конденсации паров воды, проникающих из атмосферы в горные породы. В условиях жаркого климата упругость водяных паров в атмосфере довольно высокая и они легко проникают по трещинам и порам вглубь земной коры и при охлаждении переходят в жидкое состояние, превращаясь в подземные воды. Таким способом также могут накапливаться значительные количества вод. В засушливых районах (Средняя Азия, Степной Крым) известны остатки древних сооружений, возведенных для накопления воды таким способом и использования ее для питьевых целей.

Седиментационные (осадочные) — это воды, которые формируются совместно с осадочными горными породами на начальной стадии их образовании в водоемах и водотоках. Воды при этом заполняют пустоты между минеральными частицами и при благоприятных условиях "запечатываются" в горных породах, сохраняясь в них длительное время. Такие воды обычно сильно минерализованные, т. к. длительное соприкосновение с минералами растворяет значительную их часть.

Ювенильные (девственные, первозданные) — это такие воды, которые образуются при конденсации паров на последней (гидротермальной) стадии магматического процесса минералообразования. Водород и кислород, наряду с другими химическими элементами, входят в состав вещества Земли. При снижении температуры магматических расплавов ниже критической температуры воды происходит ассоциация ионов водорода и кислорода и образование молекул воды сначала в виде пара, а затем и в виде жидкой фазы. Это первые воды, сформировавшиеся на Земле при ее остывании. По условиям образования подземные воды подразделяются на группы также в зависимости от времени их формирования. По этому признаку выделяются современные, погребенные, реликтовые и метаморфизованные воды. Современные воды формируются в настоящее время и характеризуются определенным составом и зональностью для определенных горизонтов и климатических зон. Погребенные воды являются древними образованиями, но сформировавшимися после образования горных пород, в которых они заключены. Реликтовые (остаточные) воды — остатки ранее сформировавшихся вод, образовавшихся одновременно с

горными породами, в которых они содержатся. Таким образом, это понятие совпадает с седиментационными водами (по условиям их образования). В настоящее время некоторые отрицают существование реликтовых вод. Метаморфизованные (измененные) воды являются древними образованиями, в которых под влиянием различных факторов, произошло изменение первоначального состава (например, переход карбонатных вод в сульфатные и далее в хлоридные).

5.12 Характер залегания подземных вод.

При проникновении поверхностных вод в горные породы, они под влиянием силы тяжести перемещаются в более глубокие горизонты, пока не достигнут таких горизонтов горных пород, которые являются водонепроницаемыми (водоупорами). В дальнейшем происходит движение вод и в горизонтальном направлении. В связи с этим различают несколько форм и элементов залегания подземных вод. Подземный бассейн — это такая форма залегания подземных вод, при которой воды находятся в углублениях водоупоров и не перемещаются в горизонтальном направлении. Подземный поток представляет собой движущийся по наклонной поверхности водоупора поток подземных вод. Элементами залегания подземных вод являются определенные величины, характеризующие положение подземных вод в массивах горных пород. Водоносный горизонт — подземные воды, заполняющие горные породы в определенных пределах. Подошва (основание) водоносного горизонта — плоскость, ограничивающая снизу подземные воды, располагающиеся на водоупоре. Зеркало (уровень) подземных вод — плоскость, ограничивающая водоносный горизонт сверху. Мощность водоносного горизонта — расстояние от подошвы до зеркала подземных вод по вертикали. Область питания — это та часть земной коры, где происходит пополнение водоносного горизонта за счет инфильтрации вод с поверхности, либо за счет поступления вод из других водоносных горизонтов. Область разгрузки (дренажа) представляет собой ту часть земной коры, где происходит выход подземных вод на поверхность Земли, либо переток вод из одного водоносного горизонта в другой. Участки земной коры, включающие в себя область питания, залегания и разгрузки, называются областью распространения подземных вод. По характеру залегания и распространения подземных вод выделяются грунтовые, межпластовые, трещинные и карстовые воды.

Грунтовые воды залегают на первом от поверхности водоупоре и имеют открытое зеркало, не ограниченное водоупорной поверхностью. В некоторых случаях часть грунтовых вод залегают на водоупорах, имеющих форму линз с ограниченным распространением, которые в сухое время года испаряются. Такие грунтовые воды называются сезонными водами или «верховодкой».

Межпластовые воды залегают между двумя водоупорами, поэтому зеркало их может быть ограничено подошвой верхнего водоупора при полном насыщении пористых пород водой.

Трещинные (жильные) воды залегают в трещинах плотных горных пород и не связаны с определенными пластами горных пород.

Карстовые воды — это такие воды, которые приурочены к пустотам в земной коре, образованным при растворении пород.

Когда зеркало подземных вод свободно, они могут передвигаться только под влиянием сил тяжести. Такие воды называются безнапорными. В тех случаях, когда зеркало подземных вод ограничено каким-либо водоупором, возникает гидравлический напор и подземные воды под его воздействием передвигаются и снизу вверх. Такие воды называются напорными или артезианскими (по древнеримскому названию Артезия — провинция Артуа во Франции). Они подразделяются на субартезианские, которые при вскрытии зеркала поднимаются на определенную высоту, но не достигают поверхности Земли и собственно артезианские, которые в этом случае выходят на поверхность Земли и фонтанируют. Иногда в отдельных участках водоупоров наблюдаются трещины, поры и создаются условия для перетока вод из одного водоносного горизонта в другие — возникают гидравлические связи между водоносными горизонтами. При этом вследствие смешивания происходит изменение состава вод различных горизонтов, изменяется уровень зеркала и высота напора. Выяснение наличия гидравлических связей между водоносными горизонтами является очень важным, поскольку без этих сведений иногда невозможно решение ряда вопросов строительства, особенно при возведении дренажных систем и т. д.

5.13 Гидрогеологические карты

Для оценки гидрогеологических условий определенных участков земной коры прибегают к построению гидрогеологических разрезов и различных гидрогеологических карт. Исходными материалами при этом служат наблюдения за уровнем подземных вод в местах естественных

выходов вод на поверхность (источники), замеры уровней в колодцах и т. п. При необходимости более детальной исследовании производятся специальные работы по бурению скважин, проходке горных выработок, откачке вод из водоносных горизонтов и иногда длительные наблюдения за режимом подземных вод.

Гидрогеологические разрезы представляют собой графическое изображение по определенным направлениям залегания и распространения горных пород, на которое наносятся сведения о подземных водах.

Важнейшими графическими документами являются карты гидроизогипс и гидропъез. Гидроизогипсами называются кривые, соединяющие точки с одинаковыми уровнями зеркала подземных вод (безнапорных водоносных горизонтов). Таким образом, гидроизогипсы характеризуют поверхность зеркала водоносного горизонта. Их характер и принципы построения аналогичны горизонталями рельефа на топографических картах. Гидроизопъезами (пъезогипсами) называются кривые, соединяющие точки с одинаковыми высотами (пъезометрическими уровнями) артезианских водоносных горизонтов. Карты (гидроизогипс) позволяют определить глубину залегания зеркала подземных вод в любой точке, а также мощность водоносного горизонта и направление подземного потока, которое будет располагаться перпендикулярно к гидроизогипсам в сторону их понижения. По карте гидроизогипс можно в любом месте определить напорный градиент. Для этого достаточно разделить разницу в уровнях подземных вод в двух точках на расстояние между этими точками. При наличии сведений о коэффициенте фильтрации по формуле Дарси можно определить скорость движения подземного потока (рис. 5.5). По форме и расположению гидроизогипс можно определить наличие связей между подземными и поверхностными водами (рис. 5.5). В этом случае выпуклости гидроизогипс указывают направление – откуда поступают воды. При отсутствии связей между поверхностными и подземными водами гидроизогипсы пересекают русло реки, не меняя своей формы. Карты гидроизогипс широко используются при решении практических задач по устройству дренажных систем для перехвата подземных потоков, правильного расположения подземных водозаборов и т. п. Кроме карт гидроизогипс составляются также специальные гидрогеологические карты, на которых изображаются различные сведения о подземных водах (их химизме, условиях залегания, динамике и т. п.). Следует иметь в виду, что гидрогеологический режим отдельных участков земной коры изменяется во времени, поэтому любая гидрогеологическая

карта характеризует водоносные горизонты только на момент осуществления наблюдений. При длительных наблюдениях, продолжающихся более 1 года, составляют по несколько гидрогеологических карт, соответствующих наиболее характерным изменениям гидрогеологического режима, например минимального и максимального уровня зеркала подземных вод. Кроме того наблюдения производятся во всех пунктах наблюдений одновременно.

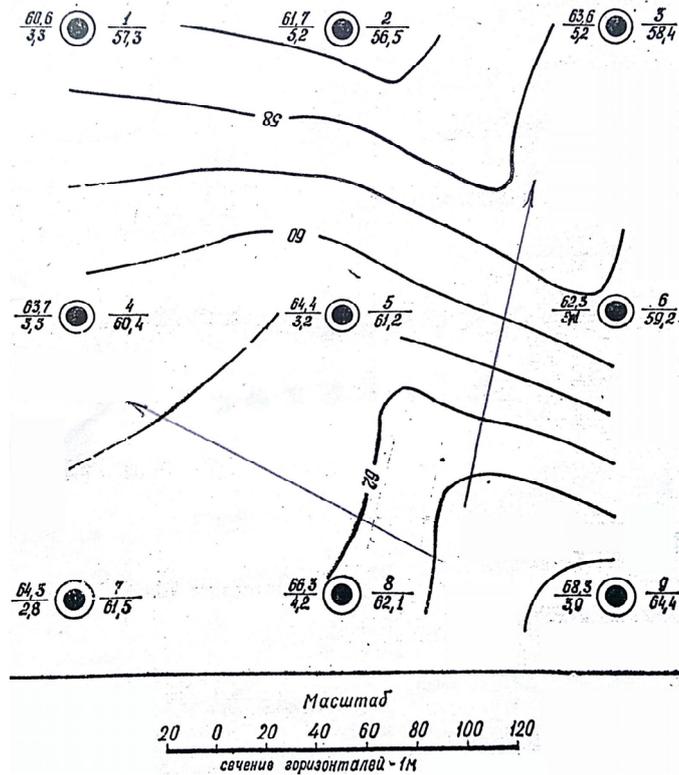


Рисунок 5.5 — Карта гидроизогипс

5.14 Определение притоков воды в горные выработки

Для оценки условия ведения строительных работ при наличии подземных вод осуществляется определение коэффициента фильтрации горных пород и притоков вод в котлованы, канавы и другие горные выработки. При этом осуществляются опытные откачки из водоносных горизонтов. Любая выработка, из которой производят откачки, носит название колодца. Различают совершенные и несовершенные колодцы. Совершенным колодцем называется выработка, которая пересекает водоносный горизонт на всю его мощность до водоупора. Несовершенный колодец представляет собой выработку, не достигшую основания водоносного горизонта. Колодцы, из которых производится откачка, называ-

ются опытными, а остальные, в которых замеряются изменения уровня зеркала подземных вод при откачке, — наблюдательными. При интенсивной откачке вода не успевает поступать в опытный колодец в тех количествах, которые откачиваются, поэтому постепенно происходит понижение уровня зеркала подземных вод. В наблюдательных колодцах понижения уровня будут меньшими, чем в опытном и будут зависеть от интенсивности откачки и фильтрационных свойств горных пород. По этой же причине на некотором расстоянии зеркало подземных вод сохранится на уровне, существовавшем до откачки. Вследствие этого вокруг опытного колодца зеркало подземных вод приобретает форму воронки, которая называется депрессионной (в плоскости чертежа она представлена депрессионной кривой). Расстояние от оси опытного колодца до границ депрессионной воронки называется радиусом влияния или радиусом депрессионной воронки. Замеряя дебит (расход) воды при откачке и понижении уровня вод, можно определить коэффициент фильтрации горных пород, в наиболее простом виде для совершенного колодца по формуле:

$$k = 0,73Q \frac{\lg R - \lg r}{H^2 - h^2}, \text{ м/сутки,}$$

где k — коэффициент фильтрации в м/сутки;

Q — приток воды в м³/сутки;

R — радиус влияния в м;

r — радиус колодца в м;

H — мощность водоносного горизонта в м;

h — расстояние от водоупора до уровня воды в колодце при откачке

в м.

Но из этого следует, что

$$Q = 1,37k \frac{H^2 - h^2}{\lg R - \lg r}, \text{ м}^3/\text{сутки.}$$

Следовательно, при наличии сведений о фильтрационных свойствах горных пород можно определить величину притоков вод при заданных (проектируемых) размерах колодца (котлована, канавы и т. п.) и понижении уровня вод (до глубины необходимого осушения). Для несовершенного колодца в безнапорном водоносном горизонте формула будет иметь вид:

$$Q = 1,37k \frac{H_0^2 - h_0^2}{\lg R - \lg r},$$

где H_0 — расстояние от дна колодца до постоянного зеркала подземных вод;

h_0 — расстояние от дна колодца до уровня воды при откачке;

Для напорного водоносного горизонта формула приобретает вид:

$$Q = 2,73k \frac{m(H-h)}{\lg R - \lg r},$$

где m — мощность водоносного пласта.

Но, т. к. $H-h=S$, то в окончательном виде формула будет иметь вид:

$$Q = 2,73k \frac{mS}{\lg R - \lg r},$$

где S — величина понижения уровня воды в колодце. При расчете притока вод в канаву, необходимо учитывать также ее длину и формула приобретает вид:

$$Q = Lk \frac{H^2 - h^2}{R}, \text{ м}^3/\text{сутки},$$

где L — длина канавы.

Если канава несовершенная и вода поступает через стенки, но и через дно, при расчете притоков вместо мощности водоносного горизонта (H) применяют величину $a=2S$. При наличии соответствующих данных по этой формуле можно определить и радиус влияния канавы, т.е. расстояние, на которое будет осуществлено осушение.

Таким образом, использование этих простейших расчетов позволяет решать задачи по дренированию территорий и определению производительности водоносных горизонтов при использовании подземных вод. Следует иметь в виду, что при расчетах дренирования различают два вида запасов вод в горных породах — статические и динамические. Статические запасы — это количество воды, которое содержится в трещинах и пустотах горных пород и при соответствующей интенсивности откачки может быть удалено из пород. Динамические запасы — это количество воды, которое постоянно поступает в горные породы со стороны области питания.

Замеры притоков воды в подземные горные выработки

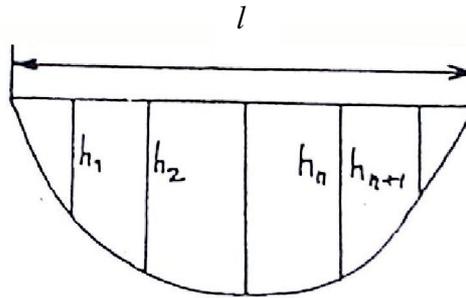
В зависимости от условий и возможности замера существует несколько способов, более простыми из которых являются: — замер притока

воды мерной тарой (бачок, ведро, кружка, шахтная вагонетка, зумпф ствола и т.д.) с указанием ее объема и времени наполнения;

Замер притока воды по водоотводной канавке поплавковым способом.

Канавка прочищается на протяженности 5–6 м, причем участок выбирается как можно более прямолинейным и замеряется ее сечение в 3–4 точках.

Замер производится по 5–6 глубинам (h_1, h_2, \dots, h_n) при ширине канавки l .



Замер притока воды поплавковым способом

Площадь F вычисляется следующим образом:

$$F_1 = \frac{(0 + h_1) + (h_1 + h_2) + \dots + (h_n + h_{n+1}) + (h_{n+1} + 0)}{2n} \cdot l.$$

Аналогично замеры проводятся по нескольким сечениям и находится среднее значение $F_{\text{ср}}$. Скорость движения поплавка V определяется секундомером за среднее время $\frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n}$ по фиксированной длине канавки l_1 , обычно равной 5–10 м.

$$V = \frac{l_1}{t_{\text{ср}}}.$$

Следует заметить, что поплавки не должны сильно выступать над поверхностью воды, поскольку этим может быть занижен приток воды, так как вода течет под уклон (0,005) к стволу, а воздушная струя движется от ствола по откаточным выработкам в сторону участков очистных и подготовительных работ.

Вода по горизонтальной горной выработке течет по канавке, дно которой может быть гладким (бетон, строганные доски, гладкая цементная

штукатурка) и негладким (бутовая кладка, посредственная бетонировка), иногда земляным. Приток воды вычисляется по формуле

$$Q = F_{cp} \cdot V_{cp},$$

причем обязательно учитывается шероховатость дна γ . Тогда

$$Q = F_{cp} \cdot V_{cp} \cdot \gamma.$$

Таблица 5.1

Коэффициент шероховатости русла потока γ по Базену

№№	Род степени русла	γ
1	Очень гладкие стены (строганные доски, гладкая цементная штукатурка и т.д.)	0,06
2	Гладкие стены (неструганные доски, тесовая и кирпичная кладки, бетонные и чугунные трубы и др.)	0,16
3	Негладкие стенки (хорошая бутовая кладка, посредственная бетонировка)	0,46
4	Промежуточная категория (грубая бутовая кладка; весьма грубая бетонировка по скале; замощение булыжником; стенки в плотных земляных грунтах, притом в весьма хорошем состоянии)	0,85
5	Земляные стенки в обычном состоянии (мощеные, но земляные русла, оказывающие особо сильное сопротивление при плохом состоянии)	1,75

Замер притока воды водосливами.

Водосливы с треугольным вырезом (рис. 5.6) представляют собой перегородку с треугольным вырезом под 90° . Расход воды определяется по формуле:

$$Q = 1,4h^2 \sqrt{h},$$

где h — высота напора (в метрах), измеряемая по рейке на расстоянии 1 м выше установки водоотлива по течению. Нулевое деление рейки находится на одной горизонтали с вершиной угла выреза. Зависимость между высотой напора h и расход воды Q определяется по таблице 5.2

Таблица 5.2

Зависимость между высотой напора h и расходом воды Q

Высота напора h , м	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,12	0,14
Расход воды Q , л/сек	0,014	0,079	0,22	0,79	1,82	4,42	6,98	10,26

Этот способ применяется при небольших расходах воды.

Применяются водоотливы переносные с трех и четырехугольным вырезом (рис. 5.6).

Водоотливы этого типа удобны в работе, изготавливаются из листового железа толщиной 1,5–2,0 мм, для жесткости окантованного железными полосами. Прямоугольный вырез имеет размер 0,2 м × 0,2 м. Расход воды определяется по формуле:

$$Q = \mu b^h \sqrt{2hg},$$

где μ — коэффициент расхода для порога длиной 0,2 м;

b — длина порога;

h — напор воды над порогом (измеряется по шкале);

g — ускорение, равное 9,81 м.

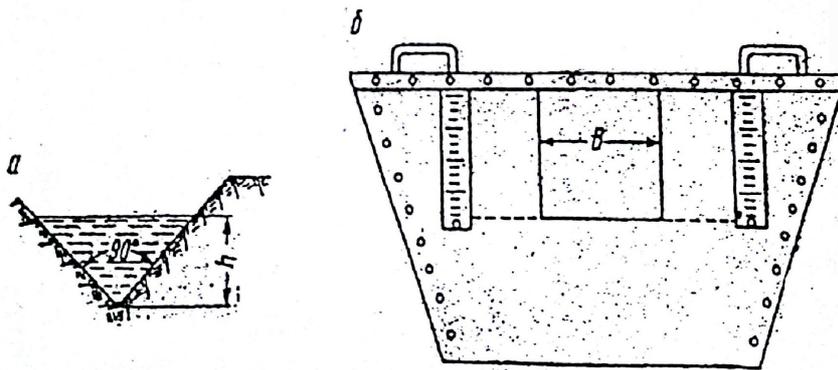


Рисунок 5.6 — Переносные водоотливы:
а — треугольный водоотлив; б — водоотливная рамка

Значение расхода (л/сек) при прямоугольном водоотливе приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Расход (л/сек) при прямоугольном водосливе

Высота струи, см	Ширина водослива, см			
	20	30	40	50
1	0,4	0,52	0,84	1,06
3	1,9	2,96	4,02	5,08
5	4,1	6,29	8,48	10,67
6	5,3	8,14	10,98	13,82
7	6,6	10,17	13,74	17,31
8	8,1	12,45	16,80	21,15
9	9,6	14,79	19,98	25,17
10	11,2	17,28	23,36	29,44
12	14,16	22,59	30,58	38,57

Определение притока воды по времени работы насоса и его производительности является весьма приближенным и требует обязательной предварительной проверки фактической его производительности, которая зависит от высоты подачи, изношенности и некоторых других условий, которые не могут быть учтены достаточно строго. Способ употребляется для получения оперативных приближенных оценок притока воды.

Определение притока воды по скорости наполнения водосборников

Определяется объем водосборника или его части, которая будет наполняться. Приток воды определяется по скорости наполнения водосборника или его части по формуле:

$$Q = \frac{V}{t},$$

где V — объем водосборника или его части, подлежащей наполнению;
 t — время наполнения.

Производятся также замеры притоков воды водосливами без бокового сжатия, однако они мало применяются в связи с необходимостью углубления дна канавки, расширения подводящего канала и т. д., сложной формулы расчета притока воды.

Замер притока воды при проведении вертикальных горных выработок (стволов, шурфов, «дудок» и т. д.) сводится к определению отношению объема подтопления фрагмента выработки ко времени его подтопления.

Иногда замер притока воды производится по производительности насоса, находящегося на забое вертикальной выработки и времени его работы (производительность насоса должна быть определена заранее).

6 ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ (ГРУНТОВЕДЕНИЕ)

6.1 Понятие о грунтах

Свойства грунтов определяют и условия ведения горных работ. В зависимости от прочности, трещиноватости, выветрелости, липкости грунтов выбирают технологию и способ ведения горных работ. Для оценки водопритоков в горные выработки, а также эффективности работы водопонижающих систем определяют фильтрационные свойства грунтов. Расчет устойчивости сводов подземных выработок проводится на основании показателей прочности грунтов на сдвиг и разрыв.

Состав, структура (обусловлена характером внутренних связей, размером, формой, расположением и количественным соотношением основных структурных элементов) и текстура (совокупность признаков, характеризующих пространственное расположение структурных элементов грунта) определяют качество грунтов при их использовании.

При оценке грунтов в связи с инженерной деятельностью применяются различные классификации, среди которых важное значение имеет их общая инженерно-геологическая, разработанная группой ученых и принятая в 1957 г. совещанием по инженерно-геологическим свойствам пород, которая базируется на основных физических свойствах грунтов, отношении к воде и главнейшим техническим показателям.

6.2 Инженерно-геологическая классификация грунтов

На основании вышеперечисленных показателей грунты подразделяются на следующие группы:

а) скальные грунты — изверженные, метаморфические и осадочные с жесткой связью между зёрнами (спаянные и сцементированные), залегающие в виде сплошного массива. Прочность скальных грунтов высокая. Предел прочности на сжатие у магматических пород изменяется от 800 до 3300 кГс/см². У метаморфических пород он колеблется от 400 до 2500 кГс/см², у осадочных от 200 до 1200 кГс/см². При такой прочности от давления инженерных сооружений эти грунты не сжимаются. Водопроницаемость скальных грунтов зависит от степени их трещиноватости и пористости.

Кроме прочности на сжатие к одним из основных свойств скальных грунтов относятся сопротивление их сдвигу и водопроницаемость. Водопроницаемость скальных грунтов зависит от степени их трещинова-

тости и пористости. Монолитные скальные породы практически водонепроницаемы.

б) полускальные грунты — также обладают жесткими структурными связями. К ним относятся трещиноватые и выветрелые скальные грунты, в основном осадочные и некоторые метаморфические горные породы. К практически нерастворимым полускальным грунтам относятся опоки, трепелы, диатомиты, алевролиты, аргиллиты, глинистые сланцы. Растворимыми грунтами являются гипсы, ангидриты, трещиноватые известняки и доломиты, каменная соль, известковые туфы.

Полускальные грунты достаточно прочны. Предел прочности на сжатие у них колеблется от 50 до 500 кГс/см². У выветрелых, трещиноватых и закарстованных разновидностей он снижается до 20–25 кГс/см². В направлении сланцеватости и слоистости прочность их также снижается. Водопроницаемость обусловлена первичной пористостью и вторичной трещиноватостью, кавернозностью, величина которой определяется главным образом размером трещин и карстовых пустот.

в) грунты с мягкими структурными связями. К таким грунтам относятся осадочные глинистые, пылеватые и смешанные породы (глины, суглинки, лесс, супеси), илы. Свойства этих грунтов определяются их гранулометрическим и минеральным составом, структурой и текстурой. Пористость их обычно высокая до 50–60 %, но водопроницаемость либо незначительна, либо практически отсутствует. Характерной особенностью мягких грунтов является изменение свойств грунта в зависимости от влажности (набухание, пластичность, липкость, просадочность и др.).

г) грунты, не имеющие структурных связей. Эта группа представлена рыхлыми, несвязанными грунтами (гравий, галечник, дресва, щебень, различные пески). Прочность их обусловлена силами трения, пористостью, размерами, формой, составом обломков и уменьшением при увлажнении.

При статических нагрузках слабо или практически несжимаемы.

Рыхлые несвязные грунты не обладают пластичностью, но некоторые разновидности, насыщенные водой, могут переходить в плавунное состояние. Обычно водопроницаемы, не влагоемки или слабовлагоемки, обладают капиллярными свойствами. Пористость их 35–40%, иногда 40–50%, угол внутреннего трения 30°–35°.

д) искусственные грунты. Искусственные грунты — это грунты, сформировавшиеся в результате деятельности человека. Они подразделяются на культурные — сформировавшиеся на месте древних и совре-

менных поселений человека и техногенные образования. Последние возникли и формируются под действием инженерной деятельности человека (терриконы, грунты в теле дамб, насыпей, шлаковые отходы и др.).

Инженерная классификация грунтов приведена в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Инженерно-геологическая классификация горных пород (грунтов)

Группа	Петрографические виды горных пород	Физические свойства	Водные свойства
Скальные	Граниты, диориты, габбро, мраморы, сланцы, кварциты, прочные песчаники, конгломераты и др.	Плотность высокая — 2,65–3.10 г/см ³ ; пористость незначительная, прочность и упругость высокая. Сопротивление сжатию 500–4000 кГс/см ² , разрыву 20–150 кг/см ²	Невлагоемкие, водонепроницаемые только по трещинам. Коэффициент фильтрации не превышает 10 м/сут.
Полускальные	Выветрелые и сильнотрещиноватые скальные грунты, вулканические туфы, мел, мергель, конгломераты, слабые песчаники, аргиллиты, известняки и др.	Плотность средняя — 2,20–2,65 г/см ³ ; пористость 10–15%. Сопротивление сжатию 150–500 кГс/см ² , разрыву — до 20 кг/см ²	Слабовлагоемкие. Водонепроницаемость зависит от трещиноватости и выветрелости. Коэффициент фильтрации до 30 м/сут.
Рыхлые несвязные	Галечники, гравии, пески	Плотность — 1,40–1,90 г/см ³ , пористость — 25–40%. Прочность зависит от плотности сложения, сжимаемы. Коэффициент внутреннего трения $f=0,25-0,60$	Невлагоемкие. Водонепроницаемые. Коэффициент фильтрации 30 м/сут и более.
Мягкие связные	Глины, суглинки, супеси, лессовые породы	Плотность — 1,10–2,10 г/см ³ , пористость 25–80%. Влажность — 15–80%. Прочность изменяется в зависимости от влажности и плотности. Коэффициент внутреннего трения $f=0,15-0,35$	Влагоемкие, нерастворимые, слабонепроницаемые или водонепроницаемые. Коэффициент фильтрации менее 0,1 м/сут.

Продолжение табл. 6.1

Группа	Петрографические виды горных пород	Физические свойства
Породы особого состава, состояния и свойств	Почвы Искусственные грунты	Насыпные (хаотические насыпи, бытовые свалки, насыпи производственных отходов); организованные насыпи (дамбы, грунтовые подушки и др.); культурные слои, улучшенные грунты естественного залегания (грунты после технической мелиорации)

6.3 Важнейшие физические свойства грунтов

Для оценки грунтов, а также их классификации необходимо знать определенные признаки (показатели) физических свойств грунтов и методы их определения.

Объемный вес. Эта величина определяется для грунта естественной влажности и сухого грунта. Объемный вес грунта естественной влажности (Δ) представляет собой вес единицы объема грунта, включающий вес твердых частиц, а также воды и газов, заключенных в пустотах. Объемный вес сухого грунта (δ) представляет собой вес единицы объема грунта, высушенного до постоянного веса при температуре 105°C, включающей вес твердых частиц и газов в пустотах. Значения объемного веса грунта используются для определения давления грунта на сооружения, а также для вычисления пористости и усадки. Наиболее распространенными методами определения этой величины являются парафинирование, лакировка и метод режущего стакана.

Удельный вес (γ) — вес единицы объема грунта, включающий только твердую (кристаллическую) фазу грунта. Удельный вес грунта зависит от удельного веса минералов, образующих грунт, и соотношения этих минералов в грунте. Этот показатель является расчетной величиной для вычисления других показателей, в частности пористости грунта. Наиболее распространенным способом определения удельного веса грунтов является пикнометрический.

Таблица 6.2

Значения удельного веса грунтов

Наименования грунтов	Удельный вес (по данным различных исследований)	
Глины	2,74	
Суглинки	2,71	
Супеси	2,70	
Пески	2,66	
Лессы	2,65	
Лессовидные суглинки	2,68	
Аргиллиты	2,63	2,86
Песчаники	2,62	2,74
Алевриты	2,61	2,83
Известняки	2,40	2,71
Мергели	2,65	2,80
Мел	2,63	2,73
Доломиты	2,28	2,84
Мраморы	2,70	2,71
Кварциты	2,74	3,05
Гнейсы	2,67	2,72
Базальты	2,82	2,95
Порфириты	2,70	2,99
Липариты	2,45	2,65
Пироксениты	3,15	3,32
Габбро	2,87	3,10
Диориты	2,70	2,92
Сиениты	2,65	2,70
Граниты	2,67	2,72

Гранулометрический состав характеризует размеры частиц грунтов. Особенно важным этот показатель является для рыхлых и пластичных грунтов. Следует иметь в виду, что основные физические свойства грунтов зависят как от гранулометрического, так и от минерального состава частиц. Для оценки гранулометрического состава грунта обычно разделяют на близкие по величине зерен группы, т. наз. фракции, используя различные методы

Методы гранулометрического анализа пород

Методы	Название метода	Способ определения содержания фракций
Прямые	Ситовой	Рассеивание на ситах
	Сабанина, пипеточный и др.	Отмучивание в воде
Косвенные	Визуальный	Визуальное исследование пород
	Ареометрический	Измерение плотности

В процессе гранулометрического анализа часть минеральных частиц (водонеустойчивые) в воде распадаются на составляющие их частицы или более мелкие агрегаты, а часть (водоустойчивые) сохраняются.

Содержание отдельных фракций в грунте выражается в процентах от веса сухого грунта. По результатам гранулометрического анализа для наглядности строят графики. Показатели гранулометрического состава используются для классификации грунтов, для приближенного определения фильтрационных свойств, оценки качества грунтов как дорожно-строительных материалов, а также добавок при изготовлении бетона, для определения несущей способности грунтов и для других целей.

Крепостью грунтов называется суммарное сопротивление воздействию внешних сил. В инженерной геологии для оценки крепости грунтов используется классификация М. М. Протодяконова, применяемая в горном деле (табл. 6.3). В качестве единицы измерения служит коэффициент крепости (f), численно равный временному сопротивлению на сжатие столбика горной породы в 100 кг/см^3 . Эта величина изменяется в значительных пределах (от $f=$ доли единицы до $f=20$).

Таблица 6.3

Шкала крепости пород М. М. Протодьяконова

Категория	Степень крепости пород	Наименование пород	Коэффициент крепости
I	В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие кварциты, базальты и некоторые другие	20 и более
II	Очень крепкие	Очень крепкие граниты, порфиры, кремнистые породы, кварциты, кремнистые песчаники и известняки	15
III	Крепкие	Граниты, крепкие песчаники, известняки, мраморы, конгломераты, железные руды, песчаники	10-8
IV	Довольно крепкие	Обыкновенные песчаники, алевролиты	6-5
V	Средние	Крепкие аргиллиты, некрепкие песчаники, известняки, конгломераты, плотные мергели	4-3
VI	Довольно мягкие	Мягкие аргиллиты, известняки, мел, антрацит, мерзлые грунты, щебенистые грунты, крепкий каменный уголь, отвердевшая глина	3-1
VII	Мягкие	Глины, каменный уголь, гравий, лесс	1-0,8
VIII	Землистые	Почвенный слой, торф, легкие суглинки, влажный песок	0,6
IX	Сыпучие	Пески осыпей, мелкий гравий, насыпные грунты, добытый уголь	0,5
X	Плывучие	Плывуны, болотные грунты, разжиженные грунты	0,3 и менее

Пористость грунтов характеризует наличие всех пустот в грунтах. Прямое определение этого показателя часто сопряжено со значительными трудностями, а иногда и невозможно. В связи с этим пористость обычно рассчитывают с использованием значений удельного веса, объемного веса, влажности грунта. Пористость представляет собой отношение объема пустот к объему твердой фазы (скелета) грунта (табл. 6.4).

Виды пористости

Виды пористости	Наименование пустот	Размеры пустот		
		Диаметр круглых пустот, мм	Ширина трещин, мм	Типичные породы
Некапиллярная	Каверны, трещины	2,0	2,0	Закарстованные, сильно трещиноватые, крупнообломочные, рыхлые
	Сверхкапиллярная	2,0-0,5	2,0-0,25	
Капиллярная	Капилляры	0,5-0,0002	0,25-0,0001	Трещиноватые, пористые, смешанные
	Субкапилляры	0,0002	0,0001	Глинистые, ультрапористые

Количественно пористость грунта характеризуется коэффициентом пористости, равным отношению объема пор ко всему объему породы (в процентах).

$$n = \frac{V_{пор}}{V_{грунта}} \cdot 100\%.$$

Наибольшей пористостью обладают глинистые грунты — 50-60%.

Различают пористость общую (физическую) — общий объем всех пор, независимо от формы, величины и взаимного расположения частиц грунта и эффективную (динамическую) — объем тех пор, через которые происходит движение воды.

Пористость и коэффициент пористости характеризуют плотность грунта, что при оценке их как оснований сооружений имеет существенное значение. От пористости зависят водные свойства грунтов.

Расчет величины пористости мелкозернистых и связных грунтов производят по удельному и объемному весу.

Пористость в виде капиллярной скважности, ноздреватости, кавернозности и мелкой трещиноватости изучают в лаборатории, а закарстованность и крупную трещиноватость в полевых условиях.

Скважностью называют совокупность пор, трещин каналов и других пустот независимо от их формы и размера. Значения пористости используются для классификации грунтов, при определении веса грунтов под

водой, фильтрационных свойств, степени плотности, сжимаемости, водоотдачи.

Фильтрационные свойства грунтов

Водопроницаемость — способность грунта пропускать через себя свободную воду при наличии напорного градиента.

Количественно определяется коэффициентом фильтрации (K_ϕ) — объемом воды, проходящей через единицу поверхности в единицу времени при напорном градиенте $U = 1$ или скоростью перемещения воды в грунте:

$$K_\phi = \frac{Q}{ts},$$

где K_ϕ — коэффициент фильтрации м/сут.;

Q — объем воды, м³;

t — время (сек, мин, час);

s — площадь сечения образца грунта (или массива).

Величина коэффициента фильтрации зависит от размера и структуры порового пространства, свойств фильтрующейся жидкости и направления движения.

Степень проницаемости пород приведена в таблице 6.5.

Таблица 6.5

Степень проницаемости пород.

Горная порода	Коэффициент фильтрации
Глина	0,001-0,0001
Суглинок	0,01-0,1
Супесь	0,1-0,5
Песок глинистый	0,5-1,0
Песок среднеглинистый	5-15
Песок среднезернистый	1-5
Песок крупнозернистый	15-50
Песок с галькой	50-100
Галечник	100-200

Не проницаемые (водоупорные)

- практически не пропускают воду: $K_\phi = 0,1-0,01$ м/сут и менее. К ним относятся глины, аргиллиты, плотные кварциты, граниты и пр.

Слабопроницаемые — $K_{\phi}=1-0,1$ м/сут. К ним относятся лесс, суглинки.

Хорошо проницаемые — $K_{\phi}=100-1$ м/сут. К ним относят пески, песчаники, гравелиты, трещиноватые известняки, мел, мергели и др.

Влажность.

В природных условиях горные породы в той или иной степени содержат воду.

Влажность горных пород — степень насыщенности водой (пленочной, капиллярной, гравитационной) пор, трещин и других пустот в естественных условиях. Такая влажность называется также естественной.

Выражается по весу к абсолютной сухой породе и определяется формулой:

$$W = \frac{g_c - g_e}{g_c} \cdot 100\%,$$

где W — естественная влажность, %;

g_e — вес образца при естественной влажности, гр;

g_c — вес образца горной породы, высушенного при — 150° – 160° С, гр.

Различают также относительную влажность — отношение объема воды в образце к объему пор в нем и отражает долю заполнения пор водой.

Определяется формулой:

$$g = \frac{W \cdot \gamma_{y\partial} (1 - n)}{n},$$

где g — относительная влажность, доли единицы;

$\gamma_{y\partial}$ — удельный вес горных пород;

W — весовая влажность породы, доли единицы;

n — пористость породы, доли единицы.

Влажность, соответствующая полному заполнению всех пор грунта водой, называется влагоемкостью (полной).

В зависимости от влажности песчаные и глинистые породы могут находиться в различном физическом состоянии — изменяется прочность, деформируемость и устойчивость.

Влагоемкость — способность горной породы поглощать и удерживать некоторое количество воды (в долях единиц или %).

1. Весьма влагоемкие (торф, глина, суглинки).
2. Слабо влагоемкие (мел, рыхлые песчаники).
3. Невлагоемкие (скальные породы, пески, галечники).

Водонасыщение — заполнение всех пор и пустот породы водой при давлении.

При проведении строительных работ в водонасыщенных горных породах применяют специальные способы проходки с применением различных способов технической мелиорации (замораживания, бетонирования и пр.), тампонирования, водопонижения и др.

Водоотдача — способность водонасыщенной породы отдавать часть воды путем свободного стекания под действием силы тяжести, либо в результате воздействия (откачки и т.п.). Оценивается процентным отношением объема свободно вытекающей из горной породы воды к ее объему. Водоотдача пород характеризуется коэффициентом водоотдачи, определяемым в процентах или долях единицы:

$$M_g = W_n - W_m,$$

где M_g — коэффициент водоотдачи, %;

W_n — полная влагоемкость, %;

W_m — максимальная молекулярная влагоемкость, %.

Водоотдача возрастает с увеличением крупности частиц породы открытой пористости, трещиноватости и с уменьшением смачиваемости.

Водонасыщение — степень заполнения порового пространства, пустот и трещин в горных породах водой.

При проведении горных работ в водонасыщенных горных породах применяют специальные способы проходки с тампонированием, замораживанием, водопонижением и т.п.

Водопоглощение — способность пород поглощать воду. Выражается процентным отношением веса поглощенной воды к весу сухой (высушенной при 105-110°C) породы.

Пластичность — способность грунтов деформироваться под воздействием внешних усилий без разрыва сплошности и сохранять приданную форму после устранения действия внешних сил. Определяется пластичность обычно косвенно путем оценки изменения состояния пластичности грунта в зависимости от его влажности (метод Литерберга). Различают следующие характерные влажности грунта, обуславливающие его консистенцию, которая характеризует степень подвижности частиц грунта или его сопротивление внешним усилиям.

Верхний предел текучести — это такое состояние влажности, при которой грунт растекается тонким слоем.

Верхний предел пластичности (нижний предел текучести) — это такое состояние влажности, при котором грунт растекается толстым слоем, приобретая свойства вязких тел. При лабораторных определениях две порции массы грунта едва сливаются в чашке при ударе.

Предел липкости — это такое состояние плотности, при которой грунт обладает пластичностью и перестает липнуть к рукам и металлу.

Сжимаемостью грунтов называется их способность под воздействием внешних нагрузок уменьшаться в объеме. Практически сжимаемость исследуют только для пластичных грунтов (глин, суглинков, супесей) поскольку уменьшение в объеме (осадка) остальных типов грунтов под воздействием давления от сооружений чрезвычайно мало и практического значения не имеет.

Сжатие рыхлых песчаных грунтов связано только «с перемещением» отдельных зерен, а при больших нагрузках с их раздроблением. Величина сжатия при этом зависит от размеров и форм частиц, примеси глинистого материала, первоначальной пористости и рыхлости сложения. Песчаные грунты значительно более благоприятны в отношении осадок под действием статических нагрузок, чем пластичные грунты, однако песчаные грунты резко уплотняются при встряхивании и вибрации (динамические нагрузки), либо переходят в текучее (пльвунное) состояние при насыщении их водой и наличии примесей глинистых частиц. Сжатие пластичных (глинистых) грунтов под действием статических нагрузок значительно больше, чем у песчаных, но осадка их почти не увеличивается под влиянием динамических нагрузок; сопротивление сжатию этих грунтов резко уменьшается при увеличении влажности. Основными факторами, определяющими величину сжатия глинистых грунтов, являются минеральный состав глинистой части грунта, прочность связей между частицами, пористость и влажность. В сухих грунтах сопротивление сжатию складывается из сопротивления внутренних связей между частицами, трения между перемещающимися частицами и давления набухания. А во влажных грунтах кроме того выжиманием воды и сжатием заземленных пузырьков воздуха. В связи с этим при одной и той же пористости и одинаковой нагрузке сжатие грунта с ненарушенной структурой значительно меньше, чем с нарушенной вследствие дополнительных сопротивлений, обусловленных внутренними связями. При удалении нагрузки наблюдается некоторое расширение глинистого грунта, однако прежний объем обычно не восстанавливается. Необратимая деформация обусловлена перемещением частиц с изменением структуры грунта и изменением связи между частицами, а обратимая — деформацией коллоидных оболочек вокруг частиц за счет их обезвоживания.

Показатели сжимаемости определяются в лабораторных условиях на компрессионных приборах (одомерах), либо в полевых условиях.

7 РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

7.1 Принцип инженерно-геологического районирования.

Инженерно-геологические условия отдельных участков земной коры характеризуются широким разнообразием, что обусловлено историей геологического развития этих областей. Различный ход геологических процессов в тех или иных регионах приводит к развитию различных физико-геологических процессов и явлений, что способствует формированию горных пород, характеризующихся разнообразными свойствами. Так, развитие магматических и метаморфических процессов приводит к образованию плотных кристаллических пород, а экзогенные физико-геологические процессы способствуют формированию рыхлых и пластичных грунтов. В свою очередь распространение определенных видов горных пород оказывает влияние на характер физико-геологических процессов. Например, в плотных кристаллических породах широко развита трещиноватость, образование различных полостей (карст и др.), в рыхлых породах развивается суффозия, дефляция, а в пластичных — оползни, явления просадочности и т. д. Таким образом, при оценке инженерно-геологических условий территорий необходимо учитывать все разновидности эндо- и экзогенных тектонических процессов, физико-геологических процессов и явлений на поверхности земли, состав и свойства горных пород и т. д.

К этим признакам во всех структурных элементах выделяются горные породы двух резко различающихся по физическим свойствам горизонтов — «коренные» и «покровные». (Некоторые исследователи используют термины «коренная основа» и «покровные отложения»). К коренным породам относятся те, которые претерпевали различные преобразования после формирования пород, включая метаморфизм. Естественно, что почти всегда эти породы будут характеризоваться значительно более плотным сложением и более высокими показателями прочности, чем покровные отложения. За редким исключением это породы являются надежными основаниями сооружений. К покровным отложениям относятся такие породы, которые не испытывали существенных преобразований и в связи с этим они являются рыхлыми, либо пластичными, т. е. значительно более слабыми, чем предыдущие. Условно к покровным отложениям относятся породы четвертичного возраста, а к коренным — более древние, хотя иногда граница между ними смещается в ту или иную сторону.

Инженерно-геологическое районирование имеет своей целью выделение участков земной коры, характеризующихся сходными условиями ведения строительных работ и эксплуатации сооружений.

В основу предполагаемого районирования и положены рассмотренные выше важнейшие факторы от глобальных (общепланетарных) до более мелких, охватывающих участки земной коры. Таким образом, учитываются тектонические процессы, при которых формируются крупнейшие структурные элементы земной коры (платформы и геосинклинали), геоморфологические элементы, характеризующие современный рельеф (горные области, низменности, речные долины и т. д.), а также литологический состав горных пород, определяющий строительные свойства грунтов, а также особенности развития различных физико-геологических процессов, влияющих на ведения строительных работ и эксплуатацию сооружений.

7.2 Характеристика инженерно-геологических условий крупнейших структурных элементов земной коры.

Крупнейшими элементами инженерно-геологического районирования являются крупнейшие структурные элементы земной коры — платформы и геосинклинальные (горноскладчатые) области.

Платформы характеризуются наличием двух структурных этажей, Нижний этаж (складчатое основание) сложен магматическими и метаморфическими породами, возникшими в результате дислокации при складкообразовательных процессах, сопровождавших начальную стадию образования платформ. Верхний этаж (осадочный чехол) образован переслаиванием обычных осадочных пород, залегающих горизонтально или почти горизонтально. Магматические породы в осадочном чехле либо отсутствуют, либо представлены щелочными интрузивными породами и эффузивными породами обычно базальтового состава. В пределах платформ выделяются обычно три более мелкие структурные единицы: области щитов, на которых осадочный чехол практически отсутствует; области антеклиз и валов, на которых осадочный покров сравнительно невелик; области синеклиз, мульд и прогибов, которые характеризуются мощным осадочным чехлом.

Геосинклинальные (горноскладчатые) области характеризуется значительной сложностью и чрезвычайным разнообразием строения. Обычно здесь выделяются три структурных этажа: низкий, сложенный преимущественно вулканогенно-осадочными породами, образовавшимися

на начальной стадии формирования складчатой области; средний — с преобладанием карбонатных и граувакковых пород и массивами гранодиоритов, которые прорывают осадочные комплексы; верхний — сложными толщами осадочных образований, характеризующихся циклическим переслаиванием галечных, песчаных, алевритовых, глинистых и карбонатных пород. Кроме вертикальной зональности отмечается также площадная зональность в виде линейно вытянутых структур: срединных массивов, внутренних синклиналей и мульды, интрузивных массивов, межгорных впадин, краевых прогибов. Каждый из этих структурных элементов характеризуется своеобразным строением. Различие в инженерно-геологических условиях отдельных структурных элементов оценивается главным образом тектонической активностью территорий в последнее время, которой обусловлены многие физико-геологические процессы и явления. По характеру новейших движений могут быть выделены три подгруппы: тектонически активные высокогорные области; тектонически слабо активные предгорные зоны; тектонически спокойные (пассивные), частично выравненные области.

Более мелкие структурные элементы, характеризующиеся сходными инженерно-геологическими условиями и имеющие ограниченное распространение как для платформенных, так и для геосинклинальных областей, выделяются по геоморфологическим признакам, гидрогеологическим условиям, направленности физико-геологических процессов и их интенсивности и литологическими признакам, которые определяют важнейшие показатели физико-химических показателей и строительные свойства грунтов. По геоморфологическим признакам выделяют первоначально крупные единицы: например, горные области, предгорья, равнины, низменности. В последующем выделяют более мелкие геоморфологические элементы: например, прибрежные участки рек, озер и морей, террасы, водораздельные пространства и т. д. В этих случаях обычно учитывают и гидрогеологические особенности территорий — например, выделяют участки, постоянно подвергающиеся затоплениям, участки, которые затапливаются в паводки и при ливнях, участки, которые не подвергаются затоплению.

По гидрогеологическим признакам выделяются участки с различными уровнями зеркала подземных вод, а также участки распространения различных (по условиям залегания и распространения) водоносных горизонтов. Обычно для полной гидрогеологической характеристики выделяют участки распространения подземных вод, характеризующихся оп-

ределенным химическим составом и определенным характером агрессивности. При оценке физико-геологических процессов и явлений особое внимание уделяют зонам распространения карстовых явлениям, оползней, селей, лавин, подмывов берегов и т. д. Приводятся также характеристики интенсивности этих явлений, которые в значительной мере определяют комплекс мероприятий, обеспечивающих надежную эксплуатацию сооружений.

По литологическим признакам районирование территорий производится первоначально с выделением участков распространения различных типов грунтов, принятых в инженерно-геологической классификации (скальные, полуобвальные и т. д.). В последующем при районировании небольших участков выделяются различные литологические разновидности, для которых определяются также конкретные показатели физических свойств грунтов. Например, выделяются зоны распространения связных (пластичных) грунтов с определенными показателями сжимаемости, просадочности и других свойств. В связи с тем, что часто наблюдается замещение одних типов грунтов другими или изменение свойств отдельных разновидностей грунтов в пространстве, обычно создаются инженерно-геологические карты срезом на определенной глубине, сопровождающиеся серией геологических разрезов в различных направлениях или (реже) разрезов в аксонометрической проекции. Сведения об инженерно-геологическом районировании приводятся в тексте и обычно сопровождаются серией разрезов и карт. Карты, как уже указывалось, могут быть специальными, на которых фиксируется какой-либо один показатель, или синтетическими, на которых изображаются определенными условными обозначениями несколько различных показателей.

В конечном итоге инженерно-геологическое районирование позволяет выделять районы и участки, непригодные для ведения строительных работ, требующие осуществления предварительной инженерной подготовки или проведения соответствующих мероприятий в период застройки и пригодные для строительства без специальной инженерной подготовки. Кроме того, детальное районирование позволяет решать вопросы чисто технического характера — глубины заложения и формы фундаментов, этажность застройки, организацию водоотлива из котлованов, объемы земляных работ и т. п.

8 МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

8.1 Цели и задачи инженерно-геологических исследований.

Перед началом проектирования и ведения строительных работ осуществляются инженерно-геологические исследования, позволяющие решить комплекс задач, обеспечивающих правильное и обоснованное ведение строительных работ и эксплуатацию сооружений. В связи с этой задачей инженерно-геологических исследований является определение и оценка таких факторов, которые позволяли бы выбрать наиболее эффективные методы ведения строительных работ и обеспечивали бы длительную и надежную эксплуатацию сооружений. Поэтому, инженерно-геологические исследования включают в себя выяснение, по крайней мере, следующих важнейших вопросов:

1. Выбор наиболее благоприятных участков застройки, путем сравнения их важнейших характеристик.

2. Оценка физико-механических свойств грунтов как оснований сооружений.

3. Выяснение характера физико-геологических процессов, протекающих на изученной территории и возможные изменения направления этих процессов под воздействием строительных работ и эксплуатации сооружений.

4. Определение мероприятий, позволяющих устранить или уменьшить отрицательное влияние физико-геологических процессов на сооружения.

5. Выбор методов искусственного улучшения физических свойств грунтов с целью создания благоприятных условий для строительства и эксплуатации сооружений.

6. Поиск и разведка местных естественных строительных материалов.

7. Обеспечение мероприятий по охране окружающей среды.

Совершенно очевидно, что для выяснения этих вопросов необходимы обширные общегеологические исследования, включающие в себя изучение условий залегания горных пород, т. е. характера структурных элементов земной коры, минерального состава и условий образования горных пород, а также их стратиграфических подразделений, выяснение гидрогеологических условий территории и оценку физико-геологических процессов, определение важнейших показателей физических свойств грунтов. Вместе с тем инженерно-геологические исследования всегда

осуществляются для конкретных строительных объектов, поэтому характер, объем и особенности этих исследований определяются также стадиями проектирования и видами строителей, для которых они производятся.

По характеру работ в инженерно-геологических исследованиях используются две группы методов — полевые и лабораторные. Полевые методы — это такие приемы, которые выполняются непосредственно на месте будущего строительства («в поле»), а лабораторные — в стационарных или передвижных (полевых) лабораториях.

8.2 Полевые методы инженерно-геологических исследований.

Наиболее распространенными и полными по объему решаемые задачи полевым методом является инженерно-геологическая съемка. По существу это комплексный вид работ, предусматривающий изучение всех вопросов, необходимых для обеспечения строительных работ. В связи с этим в процессе инженерно-геологической съемки используются разнообразные приемы работ, конечным результатом которых является создание на топографической основе соответствующих инженерно-геологических карт. Детальность этих карт обусловлена целями, стоящими перед съемкой и стадиями работ. При этом первоначально фиксируются естественные выходы на поверхность различных горных пород (естественные обнажения), а в последующем при более детальных работах прибегают к созданию искусственных обнажений в виде расчисток, канав, шурфов, подземных горных выработок, а также бурения скважин. В этих местах изучаются условия залегания горных пород, их состав, структурные и текстурные признаки, возраст, особенности физико-геологических процессов и т. д. Особое внимание уделяют изучению подземных вод. В местах наблюдений отбирают пробы грунтов для лабораторных исследований и определений физических свойств. При изучении обширных территорий широко применяются геофизические методы, основанные на использовании определенных физических эффектов для оценки свойств грунтов и условий их залегания. При этом чаще всего исследуется магнитная проницаемость горных пород (магнитометрические методы), плотность горных пород (гравиметрические методы) радиоактивность и акустика, электропроводность (электрические методы) и особенности распространения упругих колебаний в горных породах (сейсмические методы). Преимущество этих методов состоит в значи-

тельной экономии времени и средств, поскольку при этом нет необходимости в проходке горных выработок и бурении скважин. При детальном инженерно-геологическом исследовании и особенно сложных геологических условиях иногда осуществляются длительные стационарные наблюдения. Эти наблюдения имеют своей целью выяснение таких процессов и явлений, которые протекают медленно, но имеют важное значение для оценки условий эксплуатации сооружений. При этом важнейшими являются наблюдения за колебаниями уровней подземных вод, условий питания и дренажа подземных вод и их связи с поверхностными водами, изменение химического состава подземных вод, характер гидравлических связей различных водоносных горизонтов и другие гидрогеологические вопросы. Существенное значение имеют наблюдения за смещением горных масс на склонах в местах развития оползней, образования лавин, осыпей и т. д. В областях развития многолетней мерзлоты особое внимание уделяется геотермическим наблюдениям с целью изучения изменения температур горных пород и влияния этих процессов на свойства пород и устойчивость сооружений. Особое значение имеют наблюдения за осадкой существующих сооружений в тех местах, где эти явления характеризуются интенсивным развитием. В соответствии с видом предполагаемого строительства и стадией проектирования осуществляется отбор проб грунтов для лабораторных исследований их свойств, а также наблюдения за ходом физико-геологических процессов и явлений, которые будут оказывать влияние на условия ведения строительных работ и эксплуатацию сооружений. Важнейшим видом полевых исследований при инженерно-геологической съемке являются полевые опытные работы. Целью этих работ является получение наиболее надежных и достоверных сведений о грунтах и физико-геологических процессах в естественных условиях на месте ведения в будущем строительных работ. При этом определяются опытным путем количественные характеристики свойств грунтов в условиях их залегания, состав и распространение подземных вод, исследуются свойства неустойчивых грунтов и водоносных горизонтов и определяются закономерности развития физико-геологических процессов и изменения свойств грунтов. Эти исследования и позволяют получить наиболее достоверные исходные данные для проектирования и ведения строительных работ. При этом чаще всего выясняются следующие конкретные вопросы: определяется режим подземных вод и влияние подземных вод на свойства грунтов — выясняется направление и скорость движения подземных потоков, определяется водообильность водо-

носных горизонтов и дебит водозаборов (скважин, колодцев и др.) и связь между различными водоносными горизонтами, оценивается водопроницаемость грунтов. Определяются физические свойства грунтов: сжимаемость, просадочность, сопротивление сдвигу, показатели прочности, устойчивость грунтов в опытных котлованах и горных выработках и некоторые другие.

1. При разработке котлованов и проходке горных наработок необходимо иметь представление о режиме подземных вод для определения мощности средств водоотлива, либо защиты этих выработок от влияния подземных вод другими средствами. Чаще всего при этом производят опытные откачки из одиночных скважин или куста опытных и наблюдательных скважин, позволяющих определить дебиты водоносных горизонтов, наличие гидравлических связей между отдельными водоносными горизонтами и др. Характеристика и описание этих опытных работ приводится в соответствующей специальной литературе. Направление движения подземных вод определяется либо по трем точкам наблюдений, либо по карте гидроизогипс. В первом случае производится одновременный замер уровней подземных вод в трех точках наблюдений (скважинах, шурфах, колодцах и т. д.). На схему наносятся данные наблюдений. Путем интерполяции определяется изменение уровней подземных вод между двумя скважинами. Точки с одинаковыми уровнями поверхности подземных вод соединяют прямыми линиями. Перпендикуляр, проведенный к этим линиям и направленный в сторону снижения уровня подземных вод, покажет направление движения подземных вод. Более точно и детально направление движения подземных вод определяется по карте гидроизогипс. При этом на основании одновременных замеров во многих точках наблюдений составляется карта гидроизогипс. В каждой точке направление движения будет соответствовать перпендикуляру к гидроизогипсу, направленному в сторону снижения уровня подземных вод. По этим данным можно также определять градиент напора.

Дебит водозаборов также определяется путем опытных откачек при замерах количества вод, поступающих при откачке из скважин с учетом величины понижения уровня подземных вод. Скорость движения подземного потока определяется при наблюдении над лучом скважин, расположенных в направлении движения подземных вод. Отмечается время начала опыта в первой скважине, а затем время появления объекта наблюдения в следующих скважинах. Учитывая время движения и расстояние, определяется скорость движения подземных вод. Для определе-

ния скорости используются различные устойчивые красители, электролиты, меченые атомы и др. Связь между различными водоносными горизонтами устанавливается путем наблюдений над несколькими скважинами, каждая из которых вскрывает определенный водоносный горизонт. При интенсивной откачке из одного водоносного горизонта в таких случаях наблюдается также понижение уровня и в другом горизонте. Кроме того, для определения наличия связи между водоносными горизонтами могут быть использованы результаты химического анализа подземных вод из различных водоносных горизонтов.

2. Водопроницаемость грунтов определяется либо путем опытных откачек из скважин, либо путем налива воды в скважины, если грунты во время наблюдений остаются сухими. При этом для определения коэффициента фильтрации используются соответствующие формулы динамики подземных вод.

3. Особый интерес представляют опытные работы по определению физических свойств грунтов.

Широко применяется определение сжимаемости грунтов опытными нагрузками. При этом в котлованах, шурфах, скважинах устанавливаются так называемые штампы. С этой целью подготавливается выравненная площадка, на которой устанавливается жесткая квадратная или круглая основа определенной площади. На этой основе монтируется стойка или колонна труб, перекрытые платформой для загрузки. Постепенно нагружая платформу грузом при помощи специальных индикаторов, фиксируют величину уплотнения грунта за определенное время для расчета и построения графиков уплотнения грунта в естественных условиях. Таким же образом фиксируют при необходимости просадочность грунтов. Сопротивление сдвигу определяют либо на больших образцах в специальных ящиках, либо в целиках пород с помощью домкратов. В большинстве случаев эти определения проводят при одновременной вертикальной нагрузке исследуемых образцов грунта.

В некоторых случаях осуществляют опыты для определения усилий, необходимых для полного разрушения (раздавливания) плотных разновидностей грунтов. Результаты всех полевых исследований (включая и опытные работы) используются при камеральной обработке материала.

8.3 Лабораторные исследования.

При лабораторных исследованиях образцов грунтов определяются физико-механические свойства грунтов, химический состав поверхностных и подземных вод, изучение остатков организмов в горных породах для определения их возраста (палеонтологические исследования), осуществляется изучение петрографического и химического состава горных пород, моделирование различных физико-геологических процессов и явлений, изучение свойств горных пород как строительных материалов, исследование методов искусственного улучшения физических свойств грунтов и др.

Следует иметь в виду, что для различных видов грунтов определение некоторых показателей имеет неодинаковое значение — например, для скальных грунтов важнейшими являются текстурные и структурные признаки, а для глинистых — сжимаемость, просадочность и др.

Оценка свойств грунтов базируется не на единичных определениях, а на минимально необходимом их количестве, позволяющем осуществить достоверную оценку свойств различных разновидностей грунтов, их толщ, слоев и т. д. Количество таких определений предусматривается соответствующими СНиП и основано на обобщении опытов многих исследований. Для целей полной и всесторонней оценки многочисленных определений в последнее время широко используется различная вычислительная техника. В связи с тем, что на больших объектах необходимо определять разнообразные показатели на многочисленных образцах, часто используются полевые экспресс-лаборатории, позволяющие осуществлять массовые определения в короткие отрезки времени.

Гранулометрический состав грунтов является одним из важных показателей их физических свойств. Этот показатель особенно характерен для сыпучих (рыхлых) и связных (пластичных) грунтов. В связи с этим при инженерно-геологических исследованиях осуществляются массовые определения этого показателя. Все существующие методы определения гранулометрического состава могут быть разделены на две группы: 1 — методы, основанные на полном разделении частиц грунта по фракциям и 2 — методы, основанные на учете частиц без разделения их по фракциям. Каждый из методов имеет пределы применения, поэтому обычно одни методы применяются для определения гранулометрического состава грунтов, состоящих преимущественно из крупных частиц, а другие — для тонкодисперсных грунтов. Среди первой группы наиболее распространенными являются: ситовой анализ, метод разделения частиц по

скорости их падения в спокойной воде (метод А. Н. Сабанина) и метод центрифугирования. Другие методы (разделение частиц током воздуха, током воды) в настоящее время практически не используются. Ситовой метод состоит в том, что набор сит монтируется в колонну, в которой сверху располагаются сита с наибольшими отверстиями, а книзу подбираются сита с убывающими размерами отверстий. После просеивания взвешиваются остатки на ситах и определяется процентное содержание определенных фракций. Ситовой анализ применяется при определении гранулометрического состава крупнозернистых грунтов (гравия, песка) с размером частиц более 0,1 мм.

Метод разделения частиц по скорости их падения в спокойной воде основан на том, что в спокойной воде более крупные частицы грунта осаждаются быстрее, чем мелкие. При этом методе предварительно растертый грунт вымачивается в чашке или цилиндре и постепенно сливается специальным сифоном более тонкие фракции, а затем более крупные. В отечественной лабораторной практику наиболее распространенной является методика, предложенная А. Н. Сабаниным и позволяющая разделять частицы размером 0,25–0,01 мм. Метод центрифугирования основан на том, что при работе центрифуги под действием центробежной силы более крупные частицы отделяются, а более мелкие удерживаются в суспензии во взвешенном состоянии. Этот метод позволяет разделить частицы размером менее 0,005 мм вплоть до коллоидных размеров.

Среди методов, основанных на учете частиц без разделения их по фракциям, наиболее распространенными является метод пипетки (метод Глушкова – Робинзона), ареометрический метод, метод набухания (метод С. Рутковского) и некоторые другие.

Метод пипетки основан на учете непрерывного изменения количества и размеров частиц, взвешенных в воде. После приготовления суспензии через определенный отрезок времени (например 8,24 часа) выше определенного уровня (h) останутся только частицы определенного размера (например, частицы размером 0,002 мм через 8 часов осаждаются на глубину $h=10$ см). Если через 8 часов отобрать пипеткой пробу суспензии определенного объема на этой глубине, то можно рассчитать содержание частиц размером менее 0,002 мм во всем объеме суспензии. Этим методом широко пользуются при определении гранулометрического состава песков и глин. Ареометрический метод заключается в замере плотности суспензии ареометром через определенный отрезок времени.

Определив изменения плотности суспензии, по номограммам определяют количество и размер частиц, находящихся в суспензии.

Метод набухания заключается в учете приращения объема грунта на один кубический сантиметр вследствие его набухания в воде. Так, например приращение на 1 см^3 соответствует содержанию глинистых частиц 22,67 %, приращение на 4 см^3 — 90,70 % глинистых частиц и т. д. Этим методом просто определяется содержание частиц размером менее 0,005 мм.

Как следует из положений для определения гранулометрического состава грунтов, целесообразно сочетание различных методов. Модально методика проведения гранулометрического анализа приводится в литературе по методом лабораторных исследований. Наличие сведений о гранулометрическом составе позволяет оценивать несущие способности грунтов, степень однородности грунтов, рассчитывать фильтрационные свойства грунтов и т.д.

Определение таких прямых расчетных показателей физических свойств грунтов как сжимаемость, просадочность, показатели прочности является важнейшей задачей лабораторных исследований. Детально методика лабораторных исследований изложена в соответствующих учебных пособиях по грунтоведению и руководствах по лабораторным исследованиям.

Палеонтологические определения осуществляются с целью установления состава органических остатков в горных породах и выяснения, на этом основании, геологического возраста пород. Петрографические исследования производятся для детальной оценки минерального состава пород, их структурных и текстурных особенностей, состава и типа цемента, характера контактов между отдельными кристаллами и зернами. Чаще всего такие исследования осуществляются для оценки горных пород в качестве естественных строительных материалов, особенно облицовочных и декоративных камней. Химический состав горных пород для строительных целей определяется довольно редко, главным образом для выяснения возможности использования горных пород как сырья при изготовлении различных строительных материалов, а также устойчивости пород в основаниях сооружений при воздействии на них агрессивных подземных вод.

Методика палеонтологических исследований, определения химического состава горных пород, а также петрографических определений детально рассматривается в соответствующих руководствах.

8.4 Камеральные работы.

Конечным результатом инженерно-геологических исследований является отчет о проведенных работах. На его подготовку и составление отводится заключительный период времени, который называется камеральной обработкой материала. Естественно, что объемы, содержание и продолжительность камеральных работ обусловлены размерами и назначением объектов исследований. Результаты инженерно-геологических исследований, изложенные в отчете, служат основой для проектирования и ведения строительных работ. В связи с этим в отчете приводятся полные сведения об инженерно-геологических условиях территории будущего строительства, позволяющие наиболее целесообразно расположить строительные объекты и обеспечить наиболее благоприятные условия для ведения строительных работ и эксплуатации сооружений.

Обычно отчет состоит из двух основных частей — общей и специальной. В общей части излагается геологическая характеристика и история геологического развития района, стратиграфия и литология слагающих район пород, тектоника, гидрогеологическая характеристика, физико-геологические процессы и явления, оказывающие влияние на условия ведения строительных работ и эксплуатацию сооружений.

В специальной части излагаются сведения, используемые при расчетах конкретных зданий и сооружений в процессе их проектирования и строительства. Здесь приводится качественная характеристика и количественные показатели физических свойств грунтов, состав и свойства подземных вод, содержатся рекомендации по выбору естественных оснований сооружений и глубины заложения фундаментов, выбор расчетных нагрузок на основания и возможные осадки сооружений, условия вскрытия котлованов и устойчивость откосов, предполагаемые притоки вод и прогноз возможных изменений гидрогеологических условий в процессе эксплуатации сооружений. Приводятся сведения о месторождениях местных естественных строительных материалов. Особым разделом (или главой) выделяются вопросы охраны природных условий. В заключительном разделе специальной части рассматривается прогноз возможных физико-геологических условий территории и рекомендации по локализации и устранению неблагоприятных влияний этих процессов на сооружения. Отчет сопровождается табличными, графическими и текстовыми

приложениями (картами, разрезами, таблицами и др.), используемыми при проектировании и строительстве сооружений.

Для оценки песчаных, алевритовых (пылеватых) и глинистых грунтов, а также их смесей осуществляется обработка результатов гранулометрического анализа. Чаще всего гранулометрический состав выражается графически для наглядности. Наиболее распространенными способами графического выражения гранулометрического состава является изображение в треугольных координатах (треугольник Фере) и циклограмм. Способ треугольных координат сводится к следующему. Строится равносторонний треугольник, вершины которого соответствуют 100% содержанию песчаных, пылеватых или глинистых частиц. Противлежащие стороны треугольника будут представлять нулевые линии содержания этих фракций. Тогда результаты анализа будут представлены точкой пересечения линий, выражающих процентное содержание, песчаной, пылеватой и глинистой фракции и расположенной в части треугольника, тяготеющей и преобладающей фракции, либо представляющей смешанный тип грунта.

Преимуществом этого способа выражения гранулометрического состава является его простота и возможность по положению точки определить наименование грунта по трехчленной классификации, а недостатком — неполная характеристика гранулометрического состава грунта, поскольку он характеризуется только по трем фракциями.

Например:

Гранулометрический состав (в мм) грунта (вес фракций в %):

Более 1 — 0,5%; 1–0,5 — 8,6%; 0,5–0,25 — 26,4%; 0,25–0,1 — 20,3%; 0,1–0,01 — 10,2%; 0,01–0,001 — 15,6%; менее 0,001 — 18,4%.

Таким образом песчаная фракция (включая гравийные частицы) составляет — 66%, пылеватая — 15,6%, глинистая — 18,4%. В соответствии с этим наносится точка на треугольнике.

Ниже приводятся задания для оценки гранулометрического изображения (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Задания для оценки гранулометрического состава грунтов (содержание в %)

Размер фракций в мм							
№№ заданий	более 1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,01	0,01–0,001	менее 0,001
1	11,10	9,20	12,60	60,40	1,90	2,40	2,40
2	40,17	20,87	17,65	19,45	0,40	0,40	0,46
3	1,50	1,24	1,20	88,42	1,90	2,10	3,64
4	–	–	1,20	96,60	0,70	0,70	0,80
5	0,40	0,20	1,80	96,40	0,40	0,35	0,45
6	4,40	0,10	0,30	12,60	11,20	13,50	57,10
7	64,55	11,19	16,17	7,59	0,20	0,20	0,10
8	–	14,55	34,40	25,60	9,50	8,65	7,30
9	3,10	12,25	32,60	48,70	1,10	1,00	1,20
10	7,30	17,80	47,60	21,25	2,00	1,90	2,00
11	50,50	23,50	20,30	4,50	0,60	0,30	0,20
12	0,50	15,95	22,80	31,00	27,50	1,25	1,00
13	2,90	0,20	0,20	22,90	25,40	28,10	20,30
14	0,02	0,02	0,02	56,34	23,00	10,10	10,50
15	3,70	11,10	22,90	60,80	0,60	0,50	0,40
16	41,65	25,70	25,25	5,90	0,40	0,50	0,50
17	0,25	0,15	1,05	96,75	0,80	0,60	0,40
18	29,80	3,85	21,35	43,85	0,30	0,35	0,50
19	0,10	1,00	45,80	53,10	0,40	0,40	0,40
20	60,80	25,40	9,40	3,20	0,30	0,40	0,50

Продолжение табл. 8.1

Размер фракций в мм							
№№ заданий	более 1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,01	0,01–0,001	менее 0,001
21	18,00	22,65	36,50	19,50	1,20	1,25	1,55
22	0,20	0,20	3,40	93,20	1,00	1,00	1,00
23	15,85	18,10	37,85	27,60	0,20	0,20	0,20
24	73,10	8,20	7,40	6,90	2,40	1,00	1,00
25	8,40	13,10	24,00	26,20	12,20	10,90	5,20
26	7,50	8,10	11,20	12,40	14,30	14,80	31,70
27	34,10	19,50	17,80	21,20	3,10	2,30	2,00
28	4,60	11,10	59,20	24,40	0,30	0,20	0,20
29	43,80	23,40	20,60	10,20	0,90	0,80	0,80
30	0,50	0,50	0,50	91,20	2,10	2,20	3,00

Для оценки качества подземных вод с целью их использования, определения их возможного агрессивного воздействия на различные конструкции и механизмы осуществляется обработка результатов химического анализа подземных вод. При этом химический состав пересчитывается в эквивалентную и процент-эквивалентную форму, определяется ошибка анализов, подсчитывается сухой остаток, определяется общая, временная и постоянная жесткости, устанавливается возможный солевой состав, устанавливается характер агрессивности воды. Для наглядности результаты анализов выражают формулой М. Г. Курлова и наносят на график-квадрат Н. И. Толстихина. Обычно эти расчеты осуществляют в такой последовательности.

1. Определяют пересчетный коэффициент для пересчета результатов анализов в эквивалентный вид по формуле:

$$K_{пер} = \frac{W}{A},$$

где $K_{пер}$ — пересчетный коэффициент;

W — валентность;

A — атомный вес.

Умножая содержание ионов, выраженное в мг/л на пересчетный коэффициент, определяют содержание ионов в мг-экв/л. Затем, суммируя отдельно катионы и анионы, приравнивают сумму каждой к 100% и определяют содержание каждого иона в процентах мг-экв/л.

Попутно определяют величину ошибки анализа по формуле:

$$0 = \frac{\sum r^+ - \sum r^-}{\sum r^+ + \sum r^-} \cdot 100\%,$$

где $\sum r^+$ — сумма анионов в мг-экв/л;

$\sum r^-$ — сумма катионов в мг-экв/л.

Допустимая ошибка не должна превышать 5%.

2. Величина сухого остатка определяется при суммировании всех ионов, выраженных в мг/л либо путем взвешивания после выпаривания воды при температуре +110°C. Следует иметь в виду, что эти величины различаются на половину содержания аниона HCO_3^- — (в мг/л), т. к. при указанной температуре анион частично разлагается с образованием воды и углекислоты. Общее содержание сухого остатка позволяет классифицировать воду по солености (пресная — до 1 г/л; солоноватая — 1–10 г/л; соленая — 10–50 г/л и рассол — свыше 50 г/л).

3. Жесткость воды определяется по результатам химических анализов и пересчетов их в эквивалентную форму.

Общая жесткость определяется как сумма катионов $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ в мг-экв/л

$$H^{\text{общ}} = \text{Ca}^{2+} \text{ мг-экв/л} + \text{Mg}^{2+} \text{ мг-экв/л}.$$

По этому признаку воды разделяют на: мягкие — $H^{\text{общ}}$ — до 3 мг-экв/л; жесткие — $H^{\text{общ}}$ — от 3 до 9 мг-экв/л и очень жесткие — $H^{\text{общ}}$ более 9 мг-экв/л. Временная жесткость определяется исходя из следующих положений: при $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ мг/л больше $[\text{HCO}_3^-]$ мг/л временная жесткость подсчитывается по соотношению

$$H^{\text{вр}} = \frac{\text{HCO}_3^- \text{ мг/л}}{\text{HCO}_3^- \text{ мг-экв/л}}.$$

При $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$ мг/л менее $[\text{HCO}_3^-]$ мг/л временная жесткость будет равна общей жесткости.

Постоянная жесткость определяется по разнице общей и временной жесткости.

$$H^{\text{пост}} = H^{\text{общ}} - H^{\text{вр}}.$$

4. Определение возможного солевого состава воды осуществляется при помощи расчетов содержания катионов и анионов, выраженных в мг-экв/л, начиная с тех, которые преобладают.

5. Агрессивность воды определяется по всем показателям этого свойства для оценки агрессивного воздействия воды на конструкции и механизмы (на бетон и металл).

Пример:

Таблица 8.2

Химический состав пробы подземных вод (в мг/л):

Na ⁺ +K ⁺	61,24	CO ₂ (свобод.).....	8,16
Ca ²⁺	73,15	Br	2,34
Mg ²⁺	21,12	сухой остаток (при 110°С).....	391,28
HCO ₃ ⁻	416,41	температура воды.....	23°
Cl	29,36	pH.....	7,9

Порядок выполнения задания:

1. Пересчитать результаты анализа в миллиграмм–эквивалентную и процент–миллиграмм–эквивалентную форму, для чего: а) определить пересчетный коэффициент для каждого иона; б) определить содержание ионов в мг-экв/л путем перемножения содержания в мг/л на пересчетный коэффициент; в) определить содержание катионов и анионов (отдельно) в % мг-экв/л, приравнивая содержание каждого к 100% и установить процентное содержание каждого иона. Результаты пересчета свести в таблицы 8.3 и 8.4

Таблица 8.3

Ионы	Содержание в мг/л	Пересчитанный коэффициент	Содержание в мг-экв/л	Содержание в % мг-экв/л
Катионы				
Na+K	61,24	0,032	1,960	26,663
Ca	73,15	0,050	3,658	49,762
Mg	21,12	0,082	1,732	23,575
Сумма	165,51		7,350	100,600
Анионы				
HCO ₃	416,41	0,016	6,663	89,018
Cl	29,36	0,028	0,822	10,982
Сумма	445,77		7,485	100,80

2. Определить ошибку анализа по приведенной формуле.

$$0 = \frac{7,85 - 7,350}{7,485 + 7,350} \cdot 100\% = 0,9\%,$$

т.е. находится в допустимых пределах.

3. Подсчитать сухой остаток и определить группу воды по солености.

Расчитать сухой остаток (общая минерализация): представляет сумму всех растворенных в воде веществ (за исключением газов). Он отличается от величины сухого остатка, приведенного в анализе на величину, примерно равную половине количества HCO_3 т. к. при высушивании сухого остатка происходит разложение гидрокарбоната с образованием молекул воды и углекислого газа.

В нашем примере общая минерализация составляет:

$$61,24 + 73,15 + 21,12 + 416,41 + 29,36 = 601,23 \text{ мг/л.}$$

Таким образом вода относится к пресным.

4. Определить общую, временную и постоянную жесткость и оценить характер тип воды по общей жесткости.

$$H^{\text{общ}} = \frac{73,15}{20,04} + \frac{21,12}{12,16} = 3,658 + 1,732 = 5,390 \text{ в мг-экв/л,}$$

что соответствует по таблице сумме ионов Ca и Mg в мг-экв/л. По величине общей жесткости вода жесткая.

Временная жесткость при $[\text{Ca} + \text{Mg}]$ менее $[\text{HCO}_3]$ равна общей жесткости, что соответствует нашему примеру.

Постоянная жесткость составляет разницу между общей и временной жесткостью.

5. Установить возможный солевой состав воды. Строится вспомогательный график. Слева располагаются катионы (в % мг.-экв/л), справа анионы. Откладываем последовательно ионы по их преобладающему содержанию (в нашем примере: кальций, натрий и калий, магний и гидрокарбонат и хлор). После нанесения содержания ионов на график определяем возможный солевой состав и фиксируем его в среднем столбике графика.

6. Выражение химического состава воды в виде формулы М. Г. Курлова. Перед дробью указывается содержание редких элементов и свободных газов в г/л, общая минерализация в г/л; в псевдодробе в убывающем порядке анионы и катионы в % мг.-экв/л, а за дробью температура воды и рН. В нашем примере формула имеет вид:

$$\text{Br } 0,0023 \text{ CO}_2 \text{ } 0,0081 \text{ M } 0,601 \frac{\text{HCO}_3^3 \text{ } 89,018 \text{ Cl } 110,982}{\text{Ca } 49,762 \text{ Na} + \text{K } 26,663 \text{ Mg } 23,575} \text{ T}^\circ 23. \text{ pH-7}$$

7. Нанесение результатов химического анализа на график-квадрат Н. И. Толстихина. Строится график-квадрат в определенном масштабе По горизонтальной линии наносятся содержания катионов в % мг-экв/л (Ca + Mg – 73,337) и соответственно (Na + K – 26,663). По вертикальной линии наносятся содержания анионов (НСО³ и соответственно — Cl – 10,982). Точка пересечения линий соответствует химическому составу воды.

8. Определяется агрессивность воды и ее вид. В нашем примере будет иметь место только агрессивность выщелачивания (бикарбонатная щелочность), остальные виды агрессивности не наблюдаются.

Сведения по агрессивности сводятся в таблицу 8.5

Таблица 8.5

Сульфатная агрессивность		Углекислая агрессивность		Агрессивность выщелачивания		Магnezияльная агрессивность		Общекислотная агрессивность	
норма	фактически	норма	фактически	норма	фактически	норма	фактически	норма	фактически
250 мг/л	–	20 мг/л	8,16 мг/л	1,4 мг/л	–	1000 мг/л	21,12 мг/л	pH 5,5	7,9
не наблюдается		не наблюдается		наблюдается		не наблюдается		не наблюдается	

Для расчета конструкций сооружений необходимо оценить характер распространения напряжений в грунтах под воздействием давлений и величину осадок сооружений.

Установлено, что по мере удаления от точки приложения давления напряжения в грунтах ослабевают. В случае действия сосредоточенной нагрузки распределение напряжений как на глубину, так и в стороны от точки приложения величина напряжения в определенной точке определяется по формуле Буссинеска:

$$\sigma_z = k \frac{P}{Z^2},$$

σ_z — напряжение в точке с глубиной Z ;

P — интенсивность внешней нагрузки;

Z — глубина расположения точки, для которой определяется напряжение;

Угловой коэффициент может быть рассчитан по формуле

$$k = \frac{3}{2} \pi \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{Z}\right)^2\right]^{\frac{5}{2}}},$$

r — расстояние от вертикальной оси приложения давления.

В большинстве случаев приходится решать пространственную задачу распространения напряжений, поскольку основания сооружений представляют собой некоторые плоскости (чаще всего прямоугольники). В этом случае напряжения в определенной плоскости на расстоянии (глубине) Z от плоскости приложения давления рассчитывается по формуле

$$\sigma_z = kP.$$

Чаще всего значение углового коэффициента (k) определяется из таблиц, рассчитанных в зависимости от некоторых величин (α) и (β), характеризующих соотношение элементов фундамента — его длины (l) и ширины (b) При этом $\alpha = \frac{l}{b}$ и $\beta = \frac{Z}{b}$ (табл. 8.6).

Таблица 8.6

Значение углового коэффициента k в зависимости от соотношения элементов фундамента

β отношение глубины к ширине $Z : b$	α прямоугольная подошва фундамента с соотношением сторон $l : b$			
	1	2	3	10 и более (ленточный фундамент)
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00
0,2	0,96	0,98	0,98	0,98
0,4	0,80	0,87	0,88	0,88
0,6	0,61	0,73	0,75	0,75
0,8	0,45	0,59	0,63	0,64
1,0	0,34	0,48	0,53	0,55
1,2	0,26	0,39	0,44	0,48
1,4	0,20	0,32	0,38	0,42
1,6	0,16	0,27	0,32	0,37
2,0	0,11	0,19	0,24	0,31
2,4	0,08	0,14	0,19	0,26
3,0	0,05	0,10	0,13	0,21
4,0	0,03	0,06	0,08	0,16
5,0	0,02	0,04	0,05	0,13

Примечание: 1, Для промежуточных значений α и β величина коэффициента определяется интерполяцией. Для фундамента в виде круга или правильного многоугольника значение углового коэффициента k принимают как для квадратного основания, у которого $l = b = \sqrt{F}$, где F площадь подошвы фундамента.

Пример решения задачи по определению напряжений в грунте.

а) Для сосредоточенной нагрузки. На поверхность действует сосредоточенная нагрузка 100 тонн. Определить напряжение, возникающее в точке, расположенной на глубине 3,0 м от поверхности и на 1,5 в сторону от оси действия силы. При соотношении

$$\frac{r}{Z} = \frac{1,5}{3,0} = 0,5$$

коэффициент k (по таблице) равен 0,27. Тогда напряжение

$$\sigma_z = k \frac{P}{Z^2} = 0,27 \frac{100000}{300 \cdot 300} \text{ кг/см}^2$$

$$\sigma_z = 0,3 \text{ кг/см}^2.$$

б) Для пространственной задачи. Интенсивность внешней нагрузки $P=0,3 \text{ кг/см}^2$. Определим, например, напряжение на глубине 3,0 м по оси направленного давления.

Форма основания — прямоугольник с соотношением сторон 9 к 3. При этом $\alpha = \frac{l}{b} = \frac{9}{3} = 3$; $\beta = \frac{Z}{b} = \frac{3}{3} = 1$. Угловой коэффициент (по таблице) $k=0,53$. Напряжение в заданной точке $\sigma_z = kP = 0,53 \cdot 3,0 = 1,59 \text{ кг/см}^2$.

Форма основания квадрат. При равных соотношениях сторон основания и заданной глубине $\alpha = 1$; $\beta = 3$, а угловой коэффициент (по таблице) $k=0,05$. Напряжение в заданной точке $\sigma_z = 0,05 \cdot 3,0 = 0,15 \text{ кг/см}^2$.

Как видно из рассмотренных примеров, чем больше площадь основания (при той же интенсивности давления), тем на большую глубину передаются давления. Это имеет существенное значение для расчетов допускаемых давлений от сооружений, особенно при наличии прослоев неустойчивых грунтов на глубине.

Для оценки особенностей распределения напряжений в грунтах на глубине строят **эпюры напряжений** — кривые на которых изображается изменение силы давления от сооружения на грунт с глубиной. По вертикали (оси распространения давлений) откладывается глубина, а по горизонтали — величина давления. Предельной глубиной сжимаемой толщи (активной зоной) принимают такую, на которой величина давления (σ_z) составляет 0,2–0,1 от давления у подошвы фундамента.

Распределение напряжений в грунтах определяет величину осадок фундаментов сооружений. В свою очередь осадки сооружений в значительной мере влияют на распределение напряжений в конструктивных

элементах сооружений. Следует иметь в виду, что почти никогда не наблюдается равномерности в осадках фундаментов сооружений как вследствие различия сжимаемости толщ грунтов, так и вследствие различной площади подошвы фундаментов и, следовательно, величины активной зоны. Неравномерность осадок фундаментов в свою очередь вызывает дополнительные напряжения в конструкциях сооружений.

В связи с этим правильный выбор конструкции сооружения и определения запасов прочности возможен лишь на основе расчета осадок сооружений и складывается из осадки, возникающей при уплотнении верхнего слоя грунта, нарушенного при подготовке котлована под фундаменты, пластических выдавливаниях грунта в начальной стадии строительства и первичных нагрузок на фундаменты, длительных осадок, вследствие уплотнения всей сжатой толщи грунта в пределах активной зоны. Первый вид осадок должен исключаться тщательной подготовкой котлованов и аккуратным ведением работ, второй вид осадок обычно бывает невелик, поэтому при расчетах учитываются только длительные осадки, протекающие как при ведении строительных работ, так и при эксплуатации сооружений. Эти длительные деформации состоят из вертикального уплотнения и бокового расширения. Но бокового расширения при значительном заглублении фундаментов не происходит, т. к. ему противостоит масса грунта, окружающая фундамент, поэтому при расчетах осадок фундаментов определяется только величина вертикальной деформации от уплотнения грунта. При этом исходят из того, что толщина грунта в пределах глубины сжатия является однородной. Полная стабилизированная осадка некоторого объема грунта, т. е. предельно возможное уплотнение, будет равна разности начальной и конечной высот столба — $S = h - h_1$. Но объем скелета грунта зависит от коэффициента пористости грунта $\left(m = \frac{1}{1 + \varepsilon}\right)$. Тогда очевидно, что для призмы грунта определенного сечения (F) будет верно равенство:

$$\frac{Fh}{1 + \varepsilon_1} = \frac{Fh_1}{1 + \varepsilon_2},$$

где F — сечение грунта (величина постоянная, поскольку грунт не может расширяться в стороны);

ε_1 — коэффициент пористости грунта естественного сложения;

ε_2 — коэффициент пористости грунта после сжатия под давлением (P);

h — начальная высота слоя (до сжатия);

h_1 — конечная высота слоя (после сжатия).

Но величина F , h , ε_1 и ε_2 известны заранее, поэтому можно определить конечную высоту слоя деформирования грунта $h_1 = \frac{1 + \varepsilon_2}{1 + \varepsilon_1} h$.

Подставляя значение h_1 в уравнение, приведенное выше, получим

$$S = h - \frac{1 + \varepsilon_2}{1 + \varepsilon_1} h,$$

или после преобразования

$$S = h - \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1 + \varepsilon_1} h.$$

Это и есть величина стабилизированной осадки.

Как известно, коэффициент сжимаемости (a) определяется как отношение разностей приведенной пористости к величине давления ($a = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{P}$), откуда $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = aP$. Представив значение $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$ в формулу,

получим $S = h \frac{aP}{1 + \varepsilon_1}$. Но величина $\frac{a}{1 + \varepsilon_1} = a_0$ зависит только от компресси-

онных свойств грунта и называется **приведенным коэффициентом сжимаемости** грунта. Следовательно $S = ha_0P$.

Таким образом, полная осадка слоя грунта при сплошной нагрузке в условиях невозможности бокового расширения прямо пропорциональна мощности слоя сжимаемости грунта, интенсивности внешней нагрузки и зависит от свойств грунта (приведенного коэффициента сжимаемости).

Пределом применения приведенной выше формулы является условие, когда отношение мощности сжимаемой толщи грунта (h) к ширине фундамента (b) не превышает 0,5, т. е. на небольшой глубине залегает скальный несжимаемый грунт. Если сжимаемая толща велика, то уменьшение сжимаемости напряжений становится существенным и применение этой формулы невозможно. и тогда для каждого элемента призмы определяют среднее сжимающее напряжение. Величина полной осадки представляет сумму осадок отдельных элементов.

$$S = h_1 \frac{a}{1 + \varepsilon_1} \sigma_{z_1} + h_2 \frac{a}{1 + \varepsilon_1} \varepsilon_{z_2} + \dots h_i \frac{a}{1 + \varepsilon_1} \varepsilon_{z_i}.$$

При однородном грунте $\frac{a}{1+\varepsilon_1}$ остается величиной постоянной и тогда

$$S = \frac{a}{1+\varepsilon_1} (h_1\sigma_{z_1} + h_2\sigma_{z_2} + \dots h_i\sigma_{z_i}).$$

Находящееся в скобках выражение представляет собой площадь эпюры распределения сжимающих напряжений для рассматриваемой вертикали. Если в призме $h_1 = h_2 = \dots h_i$,

$$S = \frac{ah_1}{1+\varepsilon_1} (\sigma_{z_1} + \sigma_{z_2} + \dots \sigma_{z_i}) \text{ или } S = \frac{ah_1}{1+\varepsilon_1} \sum_1^i \sigma_{z_i}$$

то обычно ограничиваются расчетом эпюры в пределах активной зоны.

Пример решения задачи по определению величины осадки сооружений.

Определить осадку фундамента размером 2×20 м, если ниже подошвы фундамента на глубине 10 м залегает скальный грунт.

Дано: давление на грунт у подошвы фундамента $P=2$ кг/см²; коэффициент пористости грунта естественного сложения $\varepsilon_1 = 0,80$; коэффициент сжимаемости $a=0,016$.

Определим значение коэффициента $\alpha = \frac{l}{b} = \frac{20}{2} = 10$.

Определим значение коэффициента $\beta = \frac{Z}{b}$. Он составляет для глубины: 1 м — 0,5; 2 м — 1,0; 3 м — 1,5; 4 м — 2,0; 6 м — 3,0; 10 м. — 5,0. В соответствии с этим угловой коэффициент k (по таблице) составляет для глубины : 1 м. — 0,81; 2 м — 0,55; 3 м — 0,39; 4 м — 0,34; 6 м — 0,21; 10 м — 0,13.

Рассчитаем значения напряжений в грунте (σ_z) для указанных глубин. Оно составляет: $\sigma_{z_1} = 0,81 \cdot 2 = 1,62$ кг/см², $\sigma_{z_2} = 0,55 \cdot 2 = 1,10$ кг/см², $\sigma_{z_3} = 0,39 \cdot 2 = 0,78$ кг/см², $\sigma_{z_4} = 0,31 \cdot 2 = 0,62$ кг/см², $\sigma_{z_6} = 0,21 \cdot 2 = 0,42$ кг/см², $\sigma_{z_{10}} = 0,13 \cdot 2 = 0,26$ кг/см². Тогда с формулой определения S осадка всей выделенной призмы составит

$$S = \frac{0,016}{1+0,8} (1,62 \cdot 100 + 1,10 \cdot 100 + 0,31 \cdot 100 + 0,62 \cdot 200 + 0,26 \cdot 400) = \frac{0,016}{1,8} \cdot 609 = 5,41 \text{ см.}$$

Дано: давление на грунт у подошвы фундамента $P=2$ кг/см²;

коэффициент пористости грунта естественного сложения $\varepsilon_1=0,80$;
коэффициент сжимаемости $a=0,016$.

Определим значение коэффициента $\alpha = \frac{l}{b} = \frac{20}{2} = 10$

Определим значение коэффициента $\beta = \frac{Z}{b}$. Он составит:

глубина в м	0	1	2	3	4	6	10
значение β	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0

В соответствии с этими данными при $\alpha = 10$ угловой коэффициент k составит:

β	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0
k	1,00	0,81	0,55	0,40	0,31	0,21	0,13

Расчитываем значение напряжений в грунте ($\sigma_z = kP$) для указанных глубин. Оно составит

глубины	0	1	2	3	4	6	10
напряжения	2,00	1,62	1,10	0,80	0,62	0,42	0,26

Напряжения σ_z для отдельных глубин (0–1 м и т. д.) определяется по средним значениям.

Тогда в соответствии с формулой осадка всей сжимаемой толщи составит:

$$S = \frac{0,016}{1+0,8} \left(\frac{2+1,62}{2} \cdot 100 + \frac{1,62+1,10}{2} \cdot 100 + \frac{1,10+0,80}{2} \cdot 100 + \frac{0,80+0,62}{2} \cdot 100 + \frac{0,62+0,42}{2} \cdot 200 + \frac{0,42+0,26}{2} \cdot 400 \right) = \frac{0,016}{1,8} \cdot (181+136+95+71+104+136) = 0,0088 \cdot 723 = 6,36 \text{ см.}$$

Ниже приводятся задачи для определения напряжений в грунтах, построения эпюр и расчета осадок сооружений.

Таблица 8.7

Задание для расчета напряжений (σ_z), построения эпюр, определения величины осадок (S) сооружений

№№ заданий	Давление у основания фундаментов P кг/см ²	Длина фундамента l	Ширина фундамента b	Коэффициент пористости грунта ε_1	Коэффициент сжимаемости грунта a
1	1,75	60,0	2,0	0,63	0,019
2	2,00	40,0	2,0	0,57	0,016
3	1,50	10,0	2,0	0,72	0,014
4	1,80	12,0	1,5	0,59	0,009
5	1,25	30,0	1,5	0,88	0,120
6	2,25	6,0	2,0	0,49	0,017
7	2,40	25,0	1,5	0,41	0,015
8	2,50	50,0	2,0	0,40	0,011
9	1,90	4,0	2,0	0,58	0,012
10	2,25	60,0	30,0	0,48	0,021
11	1,70	80,0	4,0	0,76	0,019
12	2,85	6,0	6,0	0,44	0,008
13	1,40	60,0	4,0	0,69	0,018
14	1,90	20,0	20,0	0,61	0,032
15	2,90	90,0	4,0	0,45	0,024
16	3,0	80,0	2,0	0,39	0,043
17	2,30	70,0	2,0	0,60	0,031
18	1,60	15,0	15,0	0,71	0,061
19	2,80	70,0	2,0	0,46	0,087
20	2,20	50,0	4,0	0,59	0,039
21	2,70	80,0	4,0	0,51	0,025
22	2,50	8,0	8,0	0,62	0,019
23	2,30	40,0	2,0	0,53	0,026
24	3,20	12,0	6,0	0,39	0,015
25	2,40	75,0	3,0	0,48	0,034
26	2,70	40,0	20,0	0,41	0,012
27	2,75	50,0	3,0	0,54	0,018
28	3,00	80,0	4,0	0,42	0,027
29	2,40	60,0	3,0	0,31	0,019
30	2,50	90,0	3,0	0,43	0,016

8.5 Инженерно-геологические исследования на различных стадиях проектирования

Объем и виды инженерно-геологических исследований зависят от естественных инженерно-геологических условий территории, стадии проектирования и видов строительства.

Совершенно ясно, что чем более сложными являются естественные инженерно-геологические условия (тектоника, стратиграфия, состав и свойства грунтов, характер физико-геологических процессов и т. д.) тем больший объем и разнообразные виды инженерно-геологических исследований, которые приходится выполнять. Особенно детально исследуются участки будущей застройки при нарушенном залегании пород, поскольку при этом устойчивость горных пород в массивах часто заметно ослабевает, прочные разновидности пород иногда характеризуются трещиноватостью, что изменяет их фильтрационные свойства, содействует развитию различных неблагоприятных инженерно-геологических процессов и явлений (развитие оползней и т. д.). Изучение стратиграфии позволяет оценить не только возраст, но также характер и особенности распространения определенных типов пород в пространстве. Особенно детально изучаются физико-механические свойства грунтов в тех случаях, когда участки застройки сложены неустойчивыми грунтами или при частом изменении свойств грунтов как с глубиной, так и по площади.

Изучение физико-геологических процессов и явлений имеет важное значение для оценки условий ведения строительных работ и эксплуатации сооружений. Значительно увеличиваются детальность и объем работ при изучении участков развития оползней, карстовых явлений, размыва берегов рек и водоемов, переработки берегов искусственных водохранилищ, зон многолетней мерзлоты и т. д.

Стадии проектирования являются определяющими с точки зрения объема работ. Как уже указывалось, основные объемы инженерно-геологических исследований должны быть для стадии проектного задания. В связи с этим обычно полный объем работ, включая опытные и длительные стационарные наблюдения, полный комплекс лабораторных исследований выполняются для стадии проектного задания на всей территории будущей застройки. В последующем могут осуществляться (при необходимости) дополнительные работы для уточнения условий ведения строительных работ на отдельных объектах, либо более детальной оценки некоторых свойств грунтов, процессов и явлений.

Виды строительства определяют как объемы работ, так и особенно характер инженерно-геологических исследований, поскольку для различных видов строительства, кроме общих для всех инженерно-геологических работ вопросов, часто бывает необходимым оценка специфических, только определенному виду строительства присущих вопросов. Естественно, чем более сложным является вид строительства, тем более обширными и разнообразными являются инженерно-геологические исследования.

9. ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

9.1 Инженерно-геологические исследования при застройке городов.

При проектировании городов приходится решать полный круг вопросов, связанных с различными видами строительства, поскольку большие города включают в себя и промышленное строительство (заводы, фабрики, ТЭЦ и др.) и гражданские сооружения (жилые и административные здания, специально культурные сооружения), и дорожное строительство (дороги, мостовые переходы), а иногда также горное строительство (тоннели метрополитена) и даже гидротехнические сооружения (водохранилища, каналы). В связи с этим при подготовке материалов для застройки новых городов и расширении существующих приходится выполнять огромный объем работ. При этом осуществляется инженерно-геологическое районирование территорий будущей застройки и выделяются благоприятные, ограниченно благоприятные и неблагоприятные для строительства участки. Основой для такого районирования является оценка рельефа, физико-механических свойств грунтов, гидрогеологические условия, физико-геологические процессы и явления. Кроме того, выделяются территории со сходными условиями, на которых целесообразно возводить однотипные сооружения. Особое внимание при этом уделяется участкам с неблагоприятными условиями (чрезвычайно слабые или искусственные грунты, подработанные территории, образующиеся при ведении горных и буровых работ и извлечении полезных ископаемых и т. д.). При этом выясняются вопросы искусственного улучшения физических свойств грунтов, применение искусственных оснований и т. д. В последующем материалы, полученные при инженерно-геологических исследованиях, используются и для других инженерных мелиоративных работ: планировки территории, засыпке пониженных участков и срез неровностей рельефа; регулировке стока ливневых и талых вод; дренирование водоносных горизонтов с целью предупреждения подтопления и заболачивания территорий; намыв и отсыпка грунтов для создания строительных участков в речных поймах и других пониженных участках; возведения дамб и других защитных сооружений для предупреждения затопления территорий; осуществления мероприятий для за-

щиты от размыва и подмыва территорий; благоустройства участков будущей городской застройки и т. д.

При проведении работ по расширению существующих городов ведутся наблюдения за состоянием существующих сооружений и обращается особое внимание на состояние фундаментов, наличие осадок и трещин в сооружениях и прочими показателями.

9.2 Инженерно-геологические исследования для промышленного и гражданского строительства.

Промышленное и гражданское строительство являются самыми массовыми видами строительства, значение которых со временем будет все больше возрастать. Учитывая, что в будущем будет увеличиваться возведение многоэтажных зданий и сложных по конструкции тяжелых сооружений в разнообразных геологических условиях, инженерно-геологическим исследованием под промышленное и гражданское строительство будет уделяться все большее внимание. При этом будут увеличиваться объемы и детальность этих исследований.

Работы по инженерно-техническому обеспечению промышленного и городского строительства условно могут быть разделены на два этапа. На первом этапе выбирается наиболее благоприятная строительная площадка на основе сравнения различных вариантов. Иногда эта задача решается при выборе территории для застройки городов, а в некоторых случаях положение строительной площадки предопределяется соответствующими планами, некоторыми народнохозяйственными обстоятельствами, либо условиями технологии производства.

При этом следует иметь в виду, что выбранная площадка должна иметь удовлетворительные подъезды для устройства подъездных дорог, иметь достаточные размеры для размещения проектируемых объектов. Желательно, чтобы рельеф площадки по возможности был спокойным, что уменьшит затраты для планировки: площадка должна иметь благоприятные инженерно-геологические условия для возведения сооружений. На площадке не должны иметь место опасные физико-геологические процессы и явления. Кроме того, площадка должна располагаться в благоприятных санитарно-гигиенических и природных условиях окружающей среды.

Вторая стадия состоит в инженерно-геологической оценке площадки будущей застройки.

Материалы, полученные на второй стадии должны обеспечить подтверждение правильности выбора площадки, выбор типов оснований фундаментов, их формы и глубины заложения, прогнозировать изменение инженерно-геологических условий при строительстве и эксплуатации сооружений, выбирать необходимые мелиоративные мероприятия для улучшения условий ведения строительных работ и эксплуатации сооружений. В связи с этим выясняются с необходимой детальностью все указанные ранее инженерно-геологические вопросы не только для всей площадки, но и для отдельных строительных объектов у учетом генерального плана их размещения.

При изучении геологического разреза выделяются все разновидности грунтов по их петрографическим признакам и физико-механическим свойствам.

В случае частого переслаивания различных грунтов выделяются пачки с однотипными грунтами, а в мощных однородных грунтах выделяются зоны грунтов, отличающихся по физическому состоянию (плотности, влажности, трещиноватости и другим признакам). При этом должны полностью быть охарактеризованы все показатели физических свойств грунтов, оценивается строительная категория грунтов, подлежащих разработке при устройстве котлованов и других горных выработок. Таким образом из физических свойств определяются плотность, влажность, консистенция, трещиноватость, выветрелость, размягчаемость, размокание, набухание, водопроницаемость, капиллярность, гранулометрический состав, сжимаемость, просадочность и др. Особенное внимание уделяется изучению поведения грунтов под воздействием динамических нагрузок в местах будущих кузнечно-прессовых установок, кранов и т. п. При изучении гидрогеологических условий выясняются распространение подземных вод, гидравлические особенности водоносных горизонтов, водообильность, химический состав подземных вод, их агрессивность и др. Кроме того, оцениваются возможные изменения гидрогеологического режима в процессе строительства и эксплуатации сооружений.

9.3 Инженерно-геологические исследования для дорожного строительства

Просторы нашей страны и в дальнейшем потребуют большого дорожного строительства. В связи с этим необходимо рассмотреть особенности инженерно-геологических исследований для дорожного строительства. Следует иметь в виду, что особенности строительства и экс-

плуатации железных дорог требуют более подробных исследований, чем шоссейных дорог, хотя общие цели и содержание исследований остаются теми же. Общая сущность этих исследований состоит в инженерно-геологическом обосновании выбора трассы дороги, ее земляного полотна, мостовых переходов, насыпей и выемок, туннелей, а также строительства депо, станций и различных сооружений для эксплуатации дорог.

Как предварительные, так и детальные исследования должны обеспечить получение необходимых данных для правильного выбора трассы дороги с учетом физических свойств грунтов в ее основании и тех физико-геологических процессов, которые будут оказывать влияние на условия ведения строительства и эксплуатацию дороги.

При выборе трассы необходимо соблюдать, по крайней мере, следующие положения: дорога должна проходить по возможно кратчайшему направлению, профиль дороги должен быть максимально спокойным, объемы земляных работ должны быть минимальными, устойчивость полотна дорог должна обеспечивать ее бесперебойную и безопасную эксплуатацию без значительных дополнительных затрат. Отступление от этих требований приводит к резкому увеличению стоимости работ по возведению и эксплуатации дороги. В связи с этим выбор трассы осуществляется на основе сравнения нескольких вариантов. При выборе наиболее благоприятных вариантов особое внимание уделяется состоянию грунтов-оснований в массиве, поскольку наличие, например, трещиноватых или склонных к образованию оползней горных пород создает большие трудности при строительстве и эксплуатации дорог. Очень важно, чтобы участки наиболее сложные — мостовые переходы, тоннели выбирались в возможно более благоприятных условиях. Строительство дороги часто способствует интенсивному развитию неблагоприятных физико-геологических процессов и явлений, поэтому следует уделять соответствующее внимание прогнозу возможных изменений инженерно-геологических условий с учетом охраны геологической среды и окружающей природы. Обычно на стадии подготовительных работ при инженерно-геологической съемке ведется попикетное описание различных вариантов и осуществляется инженерно-геологическое районирование с выделением сходных участков.

Детальные инженерно-геологические исследования на избранном варианте имеют целью уточнить ряд вопросов, особенно на сложных участках дороги. Поэтому в местах устройства насыпей и выемок полностью исследуются физические свойства грунтов и особенно угол есте-

ственного откоса и угол внутреннего трения грунтов, поскольку этими показателями определяется не только устойчивость указанных объектов, но также и объем земляных работ. Особенно подробно исследуются участки мостовых переходов, виадуков, путепроводов, эстакад и т.д.

При выборе этих участков следует пытаться, чтобы они при прочих равных условиях имели минимальную длину, были прямолинейными, а горные породы в их основании были однородными и выдержанными по мощности и простираению. Глубина исследований в каждом конкретном случае определяется глубиной залегания прочных разновидностей грунтов, распространением многолетней мерзлоты и другими факторами в активной зоне воздействия сооружения. При любых условиях должны быть выяснены: естественные основания и глубина заложения фундаментов, определены расчетные давления на грунты оснований, определены физико-геологические процессы и явления, которые будут оказывать влияние на эксплуатацию сооружения. В связи с этим глубина исследований в некоторых случаях достигает многих десятков метров.

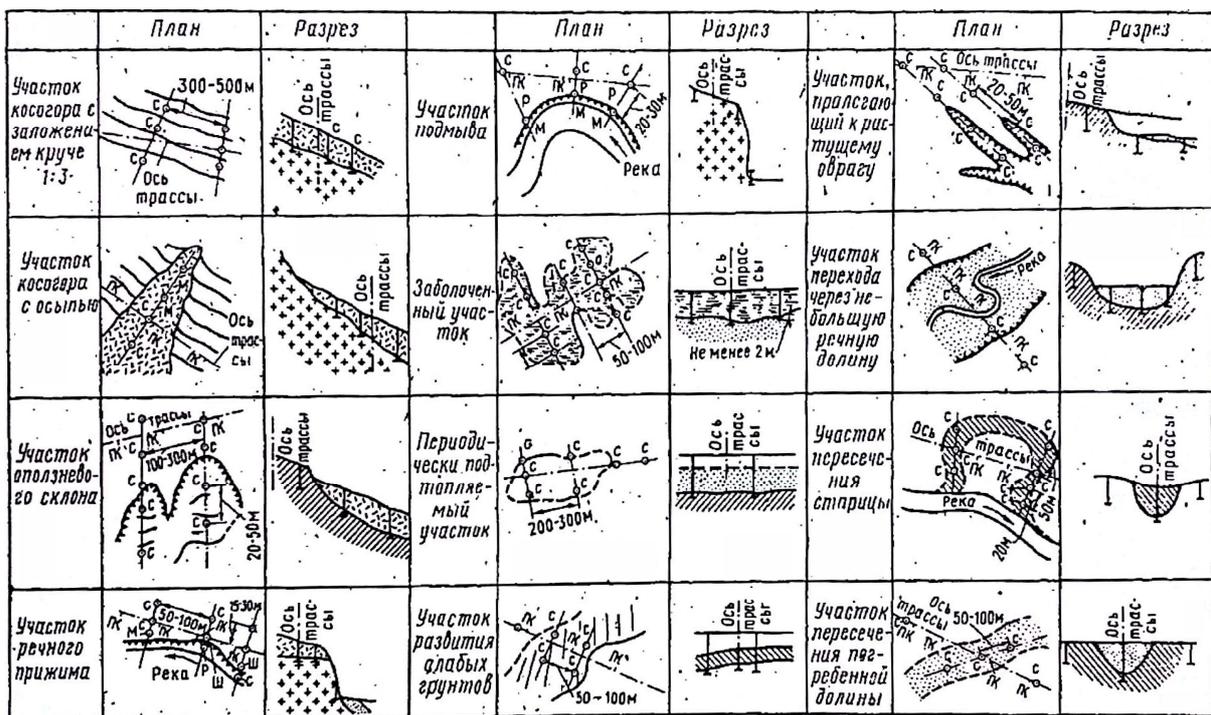


Рисунок 9.1 — Примерные схемы размещения горных выработок при изыскании для дорожного строительства на участках с различными инженерно-геологическими условиями

При этом исследуются важнейшие физические свойства грунтов как в лабораторных условиях, так и при опытных исследованиях в местах

будущего строительства. Особое внимание уделяется оценке поведения грунтов под воздействием динамических нагрузок. При невозможности избежать устройства переходов в неблагоприятных условиях, часто прибегают к применению искусственных оснований и мелиорации грунтов.

Проходка тоннелей на трассах дорог по существу представляет собой вид горного строительства и рассматривается ниже.

9.4 Инженерно-геологические исследования для горного строительства

Горное строительство включает в себя собственно горные работы, связанные с добычей полезных ископаемых (рудники, карьеры), а также строительные (тоннели, котлованы, каналы) и оборонные объекты. В связи с этим следует иметь в виду общие положения, принятые в настоящее время в горном деле. При проведении любых горных выработок в горном массиве нарушается распределение напряжений, вызванное давлением вышележащих горных пород и именуемое горным давлением. При этом в верхней части горных выработок образуется свод обрушения, в боковых частях выработок образуются вывалы при отделении части пород (горное «стреляние»), а в нижней части выработок при неустойчивых горных породах наблюдаются пластические деформации (пучение). Детали этих процессов рассматриваются в соответствующих курсах по горному делу, поэтому в нашем курсе будут рассмотрены только особенности инженерно-геологических исследований, которые необходимы для подготовки исходных данных при ведении строительных работ. В связи с тем, что большинство тоннелей и многие другие горные выработки располагаются в зонах, где проходили интенсивные тектонические процессы, такие выработки проводятся в участках сильно дислоцированных пород. Это требует тщательного изучения залегания пород, поскольку условия ведения горных работ и эксплуатация, а также выбор места заложения таких выработок будет зависеть от конкретных геологических условий. Важным является оценка структурных и текстурных особенностей пород, характера трещиноватости, которыми будут определяться устойчивость пород в массиве и сохранение горных выработок. Особое внимание при этом уделяется зонам тектонических нарушений, которые являются наиболее неблагоприятными с точки зрения проведения и эксплуатации горных выработок, поскольку здесь часто наблюдаются вывалы горных пород, чрезвычайно усложняется проявление горного дав-

ления и т. д. Значительно осложняют горное строительство карстовые явления, которые также детально изучаются.

Большим препятствием для ведения горных работ и эксплуатации подземных сооружений представляют подземные воды, особенно в зонах развития трещиноватых пород (зоны тектонических нарушений) и распространения пльвунов. В этих случаях проводятся детальные гидрогеологические исследования и опытные откачки, которые осуществляются во многих местах даже в однородных толщах пород для получения достоверных сведений о притоках вод и других гидрогеологических характеристиках.

Важным является оценка показателей физических свойств горных пород. Для плотных разновидностей определяется сопротивление раздавливанию, разрыву, скалыванию и др. Для рыхлых пород детально изучаются гранулометрический состав, углы естественного откоса, углы внутреннего трения и т.д. Для пластичных грунтов важным являются сжимаемость, набухаемость, показатели пластичности, угол внутреннего трения и др. При некоторых обстоятельствах необходимо оценить температурный и газовый режимы в местах проведения горных выработок. При проведении открытых горных выработок на поверхности (карьеры, котлованы, каналы) особое внимание уделяется оценке устойчивости откосов (определяются углы естественного откоса, углы внутреннего трения, характеристики просадочности), а также изучаются гидрогеологические условия с целью определения возможности образования оползней, для обеспечения водоотлива из выработок и решения других вопросов.

9.5 Инженерно-геологические исследования для гидротехнического строительства

Гидротехническое строительство включает в себя создание гидротехнических узлов (гидростанций, плотин, водохранилищ), а также дамб, каналов, портов и других объектов. По объемам работ и территории застройки этот вид строительства является наиболее сложным и трудоемким. Следует иметь в виду, что гидротехническое строительство все время расширяется, притом часто в районах с очень сложными условиями ведения работ (горные и сейсмически активные области, зоны многолетней мерзлоты и т. п.).

На начальных этапах работ производится выбор нескольких вариантов будущего строительства. При этом особое внимание уделяется мес-

там створов будущих плотин, а также чаши водохранилища, подводящих тоннелей, каналов и т. д.

Главными задачами этой стадии является изучение инженерно-геологических условий долины реки с целью ее районирования и выделения наиболее благоприятных участков для расположения гидроузлов и водохранилищ, а также предварительной оценки условий ведения строительных работ. Особое внимание уделяется выявлению узких и широких участков долины, строению ее продольного профиля и поперечных сечений в отдельных местах. Эти сведения часто бывают определяющими для выбора мест расположения гидроузлов, особенно с учетом устойчивости грунтов под плотиной, условий фильтрации из будущих водохранилищ и развития различных неблагоприятных физико-геологических процессов на всей территории.

При этом следует руководствоваться такими основными положениями. Створ плотины должен располагаться в наиболее узком прямолинейном участке долины с максимальными уклонами. В основании плотины долины располагаться по возможности плотные, устойчивые и однородные грунты. Зоны затопления и подтопления окружающей территории должны быть минимальными. Участок будущей застройки должен располагать удобными подъездами и площадками для размещения вспомогательных объектов при строительстве и эксплуатации (бетонных заводов, жилых поселков и т. д.). Вблизи мест будущего строительства должны быть обнаружены месторождения местных естественных строительных материалов. Отступление от этих положений в последующем приведет к усложнению условий ведения строительных работ, увеличению стоимости строительства и эксплуатации сооружений. В связи с изложенным обычно подготавливают несколько вариантов и после их сравнения выбирают наиболее благоприятный с учетом расположения не только створов водохранилищ, но и всех сооружений будущего гидроузла.

На последующих стадиях в пределах окончательно выбранного варианта осуществляют детальные исследования инженерно-геологических условий территории будущего гидроузла.

При этом особенно тщательно исследуется место заложения будущей плотины. Оценивается несущая способность основания и примыкания плотины, устойчивость склонов в местах примыкания, фильтрационных свойств грунтов в основании и примыкании. Особое внимание уделяется определению сжимаемости грунтов, сопротивления сдвигу и скалыванию, размягчению, растворению и др. Осуществляется определение

фильтрационных свойств грунтов во многих местах с учетом текстурных и структурных особенностей, наличия и характера пористости и трещиноватости и др. Кроме массовых определений этих показателей в лабораторных условиях обязательно осуществляются опытные определения расчетных величин непосредственно в местах возведения плотин, а также создания и испытания опытных моделей.

Большое внимание уделяется гидрогеологическим исследованиям для изучения условий залегания и распространения водоносных горизонтов, расположения региональных и локальных водоупоров, наличия гидравлических связей между водоносными горизонтами, химического состава подземных вод и др. Эти исследования распространяются на всю территорию гидроузла, включая водохранилище, каналы и т. д. Оценка фильтрационных свойств грунтов является одним из важнейших показателей, поскольку по одним устанавливается возведение различных устройств для уменьшения фильтрации из водохранилища (противофильтрационных завес и т. д.), а также предупреждения развития таких явлений как суффозия, развитие карста, оползней и других явлений, которые не только ухудшают условия эксплуатации, но могут привести к разрушению плотин. При оценке условий эксплуатации водохранилища, каналов, зон орошения и обводнения должное внимание придается изучению просадочности грунтов, возможному развитию оползней, засоления территории. Следует особое внимание при этом обращать на трассы каналов, участки будущей береговой линии, где особенно интенсивно может происходить переработка берегов водохранилищ, что будет способствовать заиливанию водохранилищ, каналов и разрушению береговых сооружений.

При строительстве особо крупных гидроузлов с большими водохранилищами детально исследуется вся зона влияния водохранилища, поскольку часто в этой зоне после заполнения водохранилища развиваются различные неблагоприятные физико-геологические процессы и явления. Важнейшими из них являются следующие: 1) затопление значительных территорий, включая сельскохозяйственные угодья, населенные пункты и промышленные объекты, дороги и др.; 2) подтопление, заболачивание или засоление огромных пространств, а также подземных сооружений, горных выработок и т. п.; 3) постоянные и временные потери воды из водохранилищ; 4) подмыв, разрушение и переработка берегов с развитием оползней, обвалов, деформаций на склонах, что способствует заиливанию водохранилищ, ухудшению условий судоходства и общей са-

нитарной обстановки; 5) наблюдается также усиление сейсмической активности вследствие насыщения горных пород водой.

С целью ослабления влияния этих отрицательных явлений часто приходится прибегать к искусственному улучшению физических свойств грунтов и возведению различных защитных сооружений и другим мероприятиям по защите и охране природы. При подготовке к строительным работам в зонах сейсмической активности, развития многолетней мерзлоты и других сложных условиях одних инженерно-геологических исследований бывает недостаточно и тогда прибегают к созданию действующих моделей гидроузлов в определенных масштабах с целью их испытания и последующего усиления наиболее уязвимых мест. Совершенно естественно, что при этом создаются модели, отображающие особенности геологического строения территории будущей застройки.

Во всех случаях осуществляется разведка местных естественных строительных материалов.

10 ИЗУЧЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

10.1 Поиски и разведка строительных материалов.

Инженерно-геологическая разведка представляет собой комплекс инженерно-геологических исследований на завершающих этапах инженерно-геологических работ, проводимых в пределах среды взаимодействия проектируемых сооружений с геологической средой, т. е. тогда, когда точно установлено местоположение сооружения и известны его основные конструктивные особенности, а также режим эксплуатации.

Под сферой взаимодействия сооружения с геологической средой следует понимать массив грунтов, определяющий устойчивость сооружения и воспринимающий от него различного рода воздействия, приводящие к изменению напряженного состояния грунтов, их температурного и водного режимов.

Основной целью инженерно-геологической разведки является получение исходных количественных данных для расчета оснований и фундаментов сооружений или их среды и для количественного прогноза изменения геологической среды в процессе строительства и эксплуатации сооружений, в частности:

- прогноза возникновения и хода развития инженерно-геологических процессов в сфере взаимодействия сооружений с геологической средой;
- прогноза развития выявленных физико-геологических процессов;
- прогноза изменения напряженного состояния массива грунтов, его температурного и водного режимов.

Общие задачи инженерно-геологической разведки сводятся к следующему:

- к изучению геологического разреза оснований или среды сооружений;
- определению физико-механических свойств грунтов оснований или среды, их водного и температурного режимов;
- составлению инженерно-геологической модели оснований или среды сооружений;
- установлению обобщенных значений показателей физико-механических свойств грунтов в приложении к выделенным инженерно-геологическим элементам (или модели в целом).

Система инженерно-геологической разведки и ее параметры устанавливаются в зависимости от следующих факторов:

- назначения и конструкции сооружения;
- сложности инженерно-геологических условий участка его возведения;
- степени инженерно-геологической изученности этого участка.

Назначение сооружения определяет главным образом систему инженерно-геологической разведки. Так, например, при обосновании проектов линейных сооружений работ обычно концентрируются по выбранной трассе, при обосновании проектов жилых и общественных зданий — по их осям или контурам, при обосновании зданий и сооружений промышленного назначения — по осям фундаментов и т. д.

Конструкция сооружений в общей схеме определяет параметры системы инженерно-геологической разведки, так как местоположение точек вскрытия (изучения) геологического разреза, точек отбора образцов для определения физико-механических свойств грунтов основания или среды сооружения или точек испытания грунтов полевыми методами должно соответствовать местам приложения к основанию концентрированных (под отдельными опорами сооружения) и динамических нагрузок (под фундаментами станков и механизмов, вызывающих эти нагрузки), местам сопряжения нагрузок равного знака или разной интенсивности.

Места приложения концентрированных нагрузок или сопряжения нагрузок разного знака и разной интенсивности располагаются на расстояниях, равных или кратных строительному (конструктивному) модулю сооружения. Поэтому и расстояния между точками производства инженерно-геологических работ должны быть равны (или кратны) строительному модулю проектируемого сооружения.

Выбор системы инженерно-геологической разведки и ее параметров исходят из назначения и конструкции сооружения однозначно и может быть осуществлен только в простых инженерно-геологических условиях (I категория сложности). В условиях средней и повышенной сложности (II и III категории) система инженерно-геологической разведки и ее параметры будут во многом определяться характером изучаемого массива грунтов.

В районах распространения грунтов, характеризующихся специфическими свойствами (просадочных, набухающих и др.), схема расположения точек производства работ и расстояния между точками помимо назначения и конструкции сооружения будут зависеть от условий залегания этих грунтов и их соотношения в разрезе с другими грунтами.

В районах развития физико-геологических процессов система инженерно-геологической разведки и ее параметры должны обеспечить получение достоверных исходных данных для количественной оценки влияния того или иного процесса на устойчивость проектируемого сооружения. Схемы расположения точек производства работ и расстояния между этими точками в подобных случаях будут также приниматься в основном по геологическим сооружениям.

Если основание или среда сооружения характеризуется сложным строением (резкая незакономерная изменчивость мощности слоев грунтов, линзовидное залегание грунтов и т. д.), то система инженерно-геологической разведки и ее параметры должны обеспечить достоверное выделение в разрезе инженерно-геологических элементов и их качественное опробование. В этом случае местоположение точек производства работ помимо конструкции сооружения определяется также и геологическими соображениями.

Основная цель инженерно-геологического опробования при производстве инженерно-геологической разведки — получение обобщенных значений прямых показателей физико-механических свойств грунтов для каждого выделенного инженерно-геологического элемента с учетом возможности изменения этих свойств в процессе строительства и эксплуатации проектируемого сооружения.

Из основной цели инженерно-геологического опробования вытекают следующие его задачи:

- установление параметров системы опробования;
- отбор образцов из предварительно выделенных инженерно-геологических элементов;
- установление перечня необходимых для проектных расчетов прямых определений показателей свойств грунтов;
- выбор метода (способа, схемы) определения каждого показателя;
- определение прямых показателей физико-механических свойств грунтов полевыми и лабораторными методами;
- обработка результатов этих определений и окончательное выделение инженерно-геологических элементов;
- вычисление обобщенных значений прямых показателей физико-механических свойств для каждого инженерно-геологического элемента;
- установление гарантированных значений показателей с заданной доверительной вероятностью;

прогноз изменения состояния грунтов при строительстве и эксплуатации сооружения;

определение показателей свойств грунтов с учетом прогнозируемого изменения их состояния;

введение поправок в обобщенные или гарантированные значения показателей свойств грунтов на прогнозируемое изменение их состояния.

Общая методическая схема производства инженерно-геологической разведки сводится к следующему:

к анализу материалов, полученных на предыдущих этапах изысканий применительно к назначению и конструктивным особенностям проектируемого сооружения или отдельных его частей;

установлению границ сферы взаимодействия сооружения с геологической средой;

формулированию задач инженерно-геологической разведки;

установлению системы инженерно-геологической разведки, в том числе системы опробования, и выбор параметров этих систем;

выбору методов производства инженерно-геологической разведки, в том числе методов опробования;

производству полевых и лабораторных работ;

текущей камеральной обработке получаемых материалов;

уточнению границ сферы взаимодействия сооружения с геологической средой, корректировке принятой системы инженерно-геологической разведки, ее параметров, а также методов производства работ;

окончательной камеральной обработке материалов, составлению инженерно-геологической модели основания или среды сооружения, разработке рекомендаций проектировщикам и строителям;

составлению общего заключения об инженерно-геологических условиях участка строительства.

Основное содержание геолого-методической части программы сводится к обоснованию объемов необходимых работ и методов их проведения, а также расчету трудовых и материальных затрат.

С целью проведения такого обоснования в программе должны быть проанализирована степень инженерно-геологической изученности с построением инженерно-геологической модели участка проектируемого сооружения, оценены сложность инженерно-геологических условий, взаимодействие проектируемого сооружения и геологической среды исходя из его назначения, конструкции и режима эксплуатации. На этой

основе в программе определяются границы сферы взаимодействия проектируемого сооружения с геологической средой и формулируются задачи инженерно-геологической разведки. Границы выделенной сферы взаимодействия объективно определяют площадь и глубину проведения разведочных работ, а сформулированные задачи позволяют наметить систему инженерно-геологической разведки и ее параметры, т. е. определить, где и в каких местах необходимо вскрыть геологический разрез, произвести отбор проб грунтов для лабораторных испытаний, изучение свойств грунтов полевыми методами и т. д.

В этой части программы, исходя из необходимой точности проведения работ должен быть обоснован метод или комплекс методов для решения сформулированных задач.

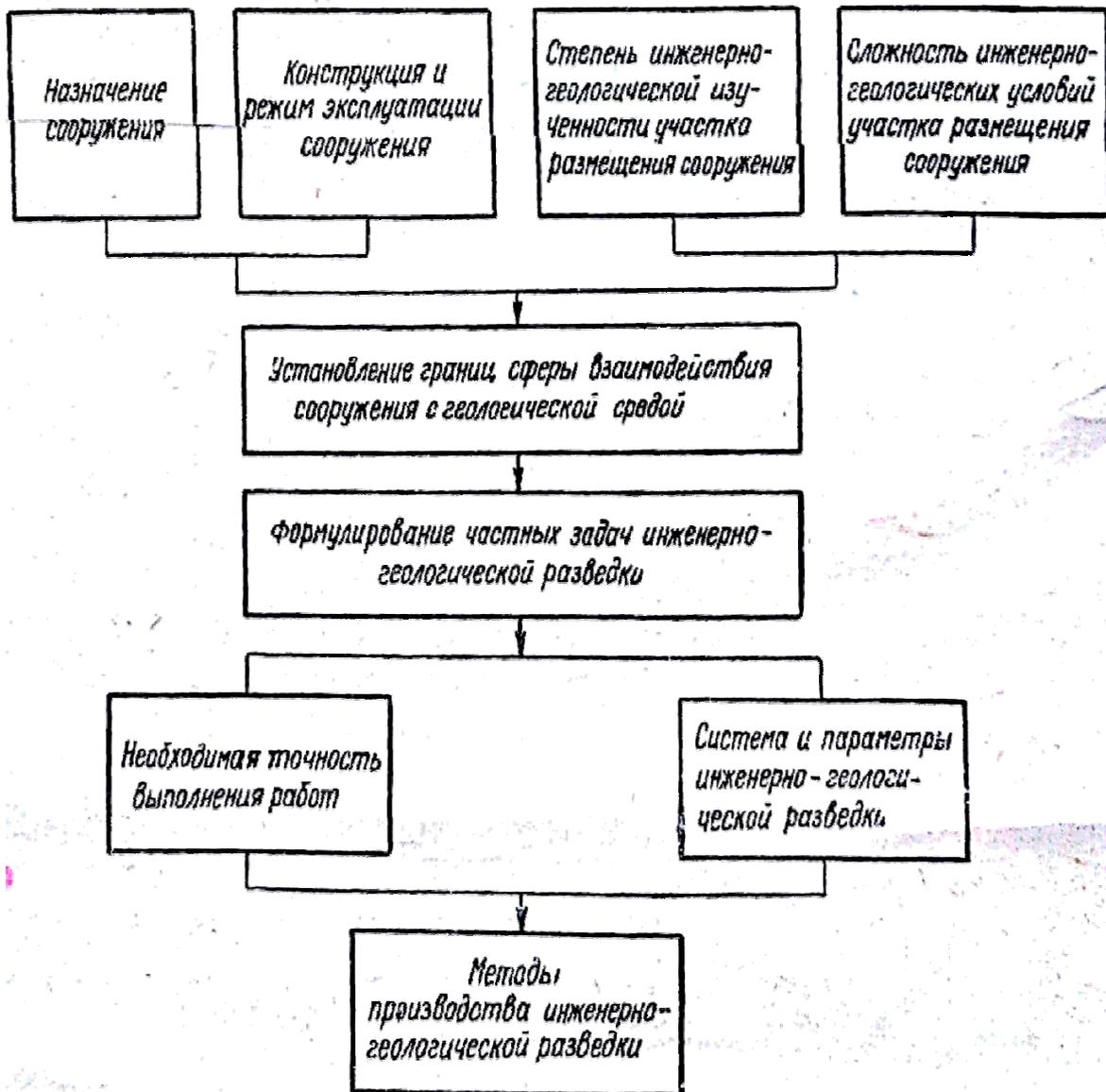
Заключительной частью геолого-методического раздела программы является сводная таблица запланированных объемов работ по их видам и методам выполнения. Принципиальная схема последовательности анализа факторов для определения задач инженерно-геологической разведки, параметров ее системы и методов проведения приведена в таблице 10.1.

Категории сложности инженерно-геологических условий строительной площадки (участка трассы) при производстве инженерно-геологической разведки рекомендуется устанавливать по таблице 10.2.

При выборе системы инженерно-геологической разведки и ее параметров необходимо учитывать степень изученности инженерно-геологических условий участка строительства проектируемого сооружения, так как в отдельных случаях часть задач инженерно-геологической разведки может быть решена без ее производства по материалам ранее выполненных изысканий по другим рядом расположенным объектам или по материалам крупномасштабной инженерно-геологической съемки, выполненной на предыдущем этапе изысканий под проектируемый объект. Задачи инженерно-геологической разведки всегда должны конкретизироваться и детализироваться применительно к инженерно-геологическим условиям возведения данного проектируемого сооружения и степени их изученности на данном участке.

Эти задачи, сформулированные для конкретных инженерно-геологических условий при проведении работ для проектирования конкретного сооружения, можно определить как частные задачи инженерно-геологической разведки.

Принципиальная схема последовательности анализа факторов для определения задач инженерно-геологической разведки, параметров ее системы и методов проведения



Формулировка частных задач должна осуществляться на основе анализа фактического материала, имеющегося в распоряжении геолога до начала производства инженерно-геологической разведки, и сопоставления его с общими задачами разведки.

Таблица 10.2

Категории сложности инженерно-геологических условий строительной площадки (участка, трассы)

Группа факторов	Категории сложности и их характеристика		
	I категория	II категория	III категория
Геоморфологическая	Строительная площадка (участок трассы) располагается в пределах одного геоморфологического элемента	Строительная площадка (участок трассы) располагается в пределах группы геоморфологических элементов одного и того же генезиса	Строительная площадка (участок трассы) располагается в пределах группы геоморфологических элементов разного генезиса
	Поверхность геоморфологического элемента ровная или слабо наклонная. Планировочные работы не проектируются	Поверхность геоморфологических элементов ровная или слабо наклонная. При проектировании возможно использование форм рельефа. Планировочные работы проектируются в небольшом объеме	Поверхность геоморфологических элементов резко расчлененная. Планировочные работы проектируются в большом объеме
Геологических условий	В сфере взаимодействия сооружений с грунтами залегает не более двух различных по литологии слоев Мощность слоев выдержана по простиранию	В сфере взаимодействия сооружений с грунтами залегает не более трех различных по литологии слоев. Мощность слоев изменяется по простиранию закономерно	В сфере взаимодействия сооружений с грунтами залегает более трех различных по литологии слоев Мощность слоев резко изменяется по простиранию. Линзовидное залегание грунтов
	Показатели физико-механических свойств грунтов выдержаны в пределах слоя. Скальные грунты залегают с поверхности или перекрыты маломощным слоем нескальных грунтов	Показатели физико-механических свойств грунтов в пределах слоя изменяются закономерно. Скальные грунты имеют неровную кровлю и перекрыты одним-двумя слоями нескальных грунтов	Показатели физико-механических свойств грунтов в пределах слоя изменяются резко или незаконмерно. Скальные грунты имеют резко расчлененную кровлю и перекрыты нескальными грунтами

Продолжение табл. 10.2

Гидрогеологическая	Грунтовые воды отсутствуют или имеется один выдержанный горизонт грунтовых вод, уровень которого располагается ниже отметок заложения фундаментов	Уровень грунтовых вод залегает выше отметок заложения фундаментов. Имеется несколько горизонтов грунтовых вод	Горизонты грунтовых вод не выдержаны по простиранию. В линзах и карманах грунтовые воды обладают местным напором
	Горизонты подземных вод, обладающих напором, отсутствуют	Имеется один выдержанный горизонт подземных вод, обладающий напором	Горизонты подземных вод, обладающие напором, не выдержаны по простиранию
Физико-геологических процессов и явлений	Физико-геологические процессы и явления, отрицательно влияющие на устойчивость проектируемых зданий и сооружений, отсутствуют	Физико-геологические процессы и явления, влияние которых необходимо учитывать при проектировании зданий и сооружений, имеют локальное распространение	Физико-геологические процессы и явления имеют повсеместное распространение. Имеются случаи деформаций зданий и сооружений, вызванных проявлением физико-геологических процессов

10.2 Виды работ и методы их выполнения

В комплексе работ при инженерно-геологической разведке используются следующие их виды:

- проходка горных выработок (шурфов, скважин, штолен и т. д.);
- геофизические работы;
- отбор, упаковка и транспортирование образцов грунтов и проб подземных вод;
- определение показателей свойств грунтов лабораторными методами;
- определение показателей свойств грунтов полевыми методами;
- стационарные наблюдения за режимом подземных вод, развитием физико-геологических и инженерно-геологических процессов;
- опытные полевые работы;
- камеральные работы.

В зависимости от сложности задач инженерно-геологическая разведка может включать как все перечисленные виды работ, так и часть из них.

Основными типами горных выработок при производстве инженерно-геологической разведки являются скважины и шурфы. В сложных геологических условиях, при изысканиях для обоснования проектов особо ответственных и уникальных сооружений, могут также использоваться шахты и штольни.

Выбор типа выработок, их размера и способа проходки обосновывается исходя из целей их проходки и инженерно-геологических условий на исследуемой площади.

Основные цели проходки горных выработок при проведении инженерно-геологической разведки следующие:

- уточнение геологического разреза в сфере взаимодействия проектируемого сооружения с геологической средой;
- отбор образцов грунтов и подземных вод для полевого и лабораторного изучения их свойств;
- определение показателей свойств грунтов полевыми методами;
- проведение стационарных наблюдений за водно-температурным режимом грунтов в сфере взаимодействия проектируемого сооружения с геологической средой и режимом физико-геологических процессов.

Таблица 10.3

Рекомендуемые способы проходки скважин для уточнения геологического разреза и отбора образцов грунтов и подземных вод

Вид бурения	Способ бурения		Виды грунтов
Колонковый	С промывкой водой		Скальные и полускальные монолитные и слабо трещиноватые, в том числе мерзлые
	С промывкой глинистым раствором		Скальные и полускальные трещиноватые и кавернозные, в том числе мерзлые
	Без промывки (всухую и безнасосным способом)		1. Глинистые твердой, полутвердой и пластичной консистенции 2. Песчаные плотные 3. Песчаные и глинистые в мерзлом состоянии, имеющие температуру -3°C и ниже
	С промывкой охлажденным солевым раствором		1. Скальные трещиноватые и кавернозные мерзлые, содержащие лед в трещинах и пустотах 2. Песчаные и глинистые в мерзлом состоянии, имеющие температуру -3°C и выше
	С продувкой охлажденным воздухом ¹		Скальные и полускальные монолитные и слаботрещиноватые мерзлые
Шнековый	Кольцевым забоем		Глинистые полутвердой и пластичной консистенции
Ударно-канатный	Кольцевым забоем	Забивной	Глинистые полутвердой пластичной и текучей консистенции
		Клюющий	1. Глинистые пластичной консистенции 2. Лёссовидные 3. Лёссы
Ударно-канатный	Сплошным забоем с опережающей обсадкой		1. Крупнообломочные обводненные и необводненные 2. Песчаные обводненные и необводненные
	Вибратором		1. Обводненные песчаные 2. Глинистые пластичной и текучей консистенции
	Вибромолотом		1. Глинистые твердой и полутвердой консистенции 2. Песчаные плотные 3. Крупнообломочные

¹ Используется редко, так как требует достаточно сложного оборудования.

Особенно тщательно следует обосновывать способ проходки и размеры горных выработок, проходимых специально для уточнения геологического разреза и отбора образцов грунта на лабораторные определения их свойств. Опыт производства инженерно-геологических изысканий показывает, что минимальными диаметрами скважин, проходимых для этих целей, должны быть:

в песчано-глинистых грунтах — не менее 108 мм;

в скальных грунтах — не менее 89 мм.

Способ проходки скважин следует выбирать исходя из рекомендаций таблицы 10.3.

Способ проходки шурфов в зависимости от конкретных геологических условий может быть буровым или горным.

Способ проходки выработок для определения показателей свойств грунтов полевыми методами и стационарных наблюдений выбирается исходя из условия минимального нарушения естественного сложения и состояния грунтов в зоне, непосредственно примыкающей к выработке, и технико-экономических показателей проходки для различных геологических условий.

Выбор станков и оборудования для проходки горных выработок, а также технология производства горных и буровых работ должны соответствовать требованиям действующих нормативных документов и методических рекомендаций.

Методы вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и электропрофилирование (ЭП) применяются для решения следующих задач:

– выделения в геологическом разрезе грунтов различного литологического (петрографического) состава;

– выделения в геологическом разрезе грунтов, находящихся в различном состоянии по плотности, влажности, температуре, степени льдистости и др.;

– оценки степени коррозионной активности грунтов по отношению к материалу проектируемых сооружений.

Метод электрического профилирования (ЭП) используется при необходимости:

– прослеживания (картирования) слоев грунтов однородного состава и состояния;

– выявления фациальных границ и границ (переходных зон) изменения состояния грунтов по влажности, температуре и др.;

– определения положения в пространстве выделенных границ и переходных зон;

– оценки степени коррозионной активности грунтов.

Общими условиями применения методов ВЭЗ и ЭП являются:

– достаточная по величине разница в удельных электросопротивлениях изучаемых геологических объектов, в частности слоев грунтов различного состава и состояния;

– соизмеримое соотношение глубины изучения разреза электроразведкой и размеров изучаемых геологических объектов.

Некоторые методы определения свойств грунта стандартизированы и технология их проведения регламентированы.

К ним относятся удельный вес грунта, объемный вес грунта, влажность, пластичность, гранулометрический состав.

Объемный вес макропористых грунтов рекомендуется определять только методом режущего кольца.

Объемный вес крупнообломочных грунтов определяется в полевых условиях по методу А. И. Шеко путем взвешивания измеренного объема грунта.

Пористость грунта (для песчаных, скальных и полускальных грунтов) определяется методом насыщения измеряемого объема грунта жидкостью с известным удельным весом.

Водопроницаемость грунтов определяется в подавляющем числе случаев определением коэффициента фильтрации.

Основные лабораторные и полевые методы определения коэффициента фильтрации и границ их использования применительно к различным грунтам приводятся в таблице 10.4.

Таблица 10.4

Лабораторные и полевые методы определения коэффициента фильтрации

Лабораторные			Полевые	
Прямые	Косвенные	Виды грунтов	Прямые	Виды грунтов
Прибор Г. Н. Каменского	—	Песчаные глинистые нарушенного и ненарушенного сложения	Опытные от качки из скважин и шурфов	Все виды, кроме глин и суглинков
Прибор Г. Тиме	—	Песчаные нарушенного сложения	Опытные наливывы в шурфы	Песчаные и глинистые, кроме глин при глубоком залегании уровня грунтовых вод (4–6 м)

Продолжение табл. 10.4

Лабораторные			Полевые	
Прямые	Косвенные	Виды грунтов	Прямые	Виды грунтов
Трубка Г. Н. Ка- менского	—	То же		
Прибор КФЗ (трубка «Спец- гео»)	—	Песчаные и глинистые нена- рушенного и нару- шенного сложения		
Прибор ПВ	—	Глинистые ненарушенного и нарушенного сло- жения	Наблюдения за восстановлением уровня воды в скважинах	
—	По результатам гранулометрическо- го анализа	Песчаные одно- родные		
—	По результатам компрессионных испытаний	Глинистые не- нарушенного и на- рушенного сложе- ния		

Основные схемы испытания глинистых грунтов лабораторными методами при инженерно-геологических изысканиях показаны в таблице 10.5.

Для всех других грунтов (скальных, нескальных мерзлых, высокопористых, глинистых, текучей консистенции) схема испытаний статическими нагрузками и технология этих испытаний должны устанавливаться опытным путем с учетом условий работы грунта в основании сооружения или его среды.

Имеющиеся в практике изысканий установки для проведения статических нагрузок позволяют проводить испытания до глубины 10 м.

Обязательными условиями проведения опыта являются следующие:
сохранность природного сложения грунтов под штампом;
передача нагрузки на подошву штампа строго по его центру;
постоянство режима температуры и влажности грунтов в зоне действия штампа в процессе опыта;
строгое соблюдение режима нагрузок, определенного программой.

Таблица 10.5

Основные схемы испытаний глинистых грунтов лабораторными методами при инженерно-геологических изысканиях

274

Номенклатурный вид грунта и его физическое состояние	Компрессионные испытания		Сопротивление сдвигу	
	схема испытаний	область применения	схема испытаний	область применения
	2	3	4	5
текучий $V > 1$; текучепластичный $0,75 < V < 1$	Под водой малыми ступенями нагрузок	Для слабых водонасыщенных грунтов и грунтов, залегающих ниже уровня грунтовых вод	1. Быстрый сдвиг в естественном состоянии (без предварительного уплотнения) малыми вертикальными нагрузками	Применяется для оценки прочности грунтов в начале строительного периода, когда отсутствует консолидация грунта под нагрузкой
мягкопластичный $0,5 < V \leq 0,75$	а) без заливки воды	Для грунтов, залегающих выше и ниже уровня грунтовых вод	2. Медленный сдвиг с предварительным уплотнением (уплотнение производится малыми ступенями нагрузок)	Схема соответствует периоду строительства или эксплуатации сооружения, когда в условиях возможности дренирования происходит полная консолидация грунта под нагрузкой
тугопластичный $0,25 < V \leq 0,5$	б) с насыщением водой в условиях неизменного или ограниченного объема;	Для грунтов, неперпевающих увлажнение в период строительства и эксплуатации сооружения	1. Быстрый или ускоренный сдвиг в естественном состоянии, без предварительного уплотнения	Схема соответствует началу строительного периода, когда нет консолидации грунта под нагрузкой

Продолжение табл. 10.5

275

1	2	3	4	5
полутвердый $0 < 5 \leq 0,25$	в) в условиях свободного набухания и последующего сжатия	Для оценки поведения грунта в котлованах, простоявших длительное время открытыми до возведения сооружений (толща грунта претерпевает разгрузки)	2. Медленный сдвиг с предварительным уплотнением (без воды)	Схема применяется для оценки прочности грунтов после их полной консолидации под нагрузками от сооружения, без взаимодействия грунтов с водой (конец строительного периода и период эксплуатации)
твердый $B < 0$			Медленный сдвиг без предварительного уплотнения	Схема соответствует поведению грунта в основании сооружений при обычных нагрузках (без водонасыщения)
Набухающий	а) с насыщением водой в условиях переменного или ограниченного объема б) в условиях свободного набухания и последующего сжатия	Для оценки свойств набухающих грунтов, испытывающих дополнительное водонасыщение в условиях строительства	1. Быстрый или ускоренный сдвиг после предварительного свободного набухания 2. Быстрый, ускоренный или медленный сдвиг после ограниченного набухания (под заданными нагрузками)	Применяется для оценки прочности набухающих грунтов в котлованах и откосах выемок Применяется для оценки прочности набухающих грунтов, взаимодействующих с водой, под нагрузками от сооружения

Продолжение табл. 10.5

1	2	3	4	5
Просадочный	а) по методу двух кривых при ступенчатом нагружении	Для предварительной оценки величины просадочности	1. Быстрый или медленный сдвиг грунтов в естественном состоянии (в зависимости от состояния и прочности грунтов)	Применяется для оценки прочности в их естественном физическом состоянии до замачивания
	б) по методу одной кривой при ступенчатом нагружении под несколькими нагрузками	Для получения величины просадочности	2. Медленный сдвиг после уплотнения и водонасыщения	Применяется для оценки прочности в стадии после просадочных деформаций (в условиях замачивания и длительной эксплуатации сооружения)
	в) по методу одной кривой при ступенчатом нагружении при длительных компрессионных испытаниях с непрерывной фильтрацией	Для определения величины просадочных деформаций	<i>Примечание.</i> Для оценки сопротивления сдвигу грунтов в стадии просадочных деформации рекомендуется проводить быстрый сдвиг под малыми вертикальными нагрузками после замачивания грунта.	

Проведение опыта статическими нагрузками должно предваряться бурением скважины на расстоянии 5–10 м (в зависимости от сложности строения геологического разреза) от точки проведения опыта с детальным послойным описанием состава грунтов. Глубина скважины должна определяться глубиной проведения опыта плюс 2 м (ориентировочная максимальная глубина влияния опыта).

При проведении опыта в шурфах с глубины установки подошвы штампа, в непосредственной близости от него, отбирается образец грунта ненарушенной структуры для определения комплекса физических и механических свойств в лаборатории.

Метод прессиометрии может быть использован для определения модуля деформации грунтов с поверхности и до глубины 25–50 м в зависимости от типа применяемого прибора.

Главное достоинство метода — возможность послойного определения модуля деформации. Ограничивающим фактором применения метода является мощность однородного по составу и состоянию слоя, которая должна быть больше длины рабочей камеры прессиометра. При резкой анизотропии свойств грунтов необходимо располагать количественными характеристиками анизотропии, которые можно получить только лабораторными методами испытанием в компрессионных приборах различно ориентированных образцов.

Модуль деформации определяется по линейному участку прессиометрической кривой, отвечающей стадии уплотнения грунта под приложенной нагрузкой.

При проведении опыта следует учитывать степень насыщенности грунта водой. В случае плотных и слабо влажных грунтов испытания проводятся по схеме быстрого деформирования (поровое давление воды можно не учитывать), в случае сильно влажных грунтов — по схеме медленного деформирования для создания возможности рассеивания порового давления.

Основными показателями прочностных свойств грунтов являются предел прочности на сжатие (временное сопротивление грунта при одноосном сжатии), величина сцепления и коэффициент внутреннего трения.

Предел прочности на сжатие в практике инженерно-геологических изысканий определяется лабораторными методами и этим показателем оцениваются в основном скальные и полускальные грунты. Кроме того, этот метод может быть рекомендован для сравнительной оценки прочности глинистых грунтов твердой, полутвердой и тугопластичной конси-

стенции. Величина сцепления и угол трения характеризуют прочность глинистых грунтов, а угол внутреннего трения — песчаных. Оба эти показателя могут быть определены как в полевых, так и в лабораторных условиях¹.

Определение предела прочности на сжатие скальных грунтов проводится на том же оборудовании, что и определение модуля деформации. Отличие состоит в том, что увеличением нагрузок образец грунта доводят до разрушения. Основные требования к размеру образцов и их обработке следующие:

для образца цилиндрической формы отношение диаметра к высоте должно быть близким к 1:1, с отклонением не более 5%;

диаметр образца не может быть меньше 40 и больше 45 мм;

для образца кубической формы размер должен быть 50×50×50 мм.

В процессе полевых работ проводится систематическая обработка получаемого фактического материала. В частности:

составляется карта (план) фактического материала;

строятся инженерно-геологические колонки горных выработок;

строятся геолого-геофизические профили на основе предварительной интерпретации результатов геофизических работ;

производится расчленение геологического разреза и выявление положения границ инженерно-геологических элементов по данным динамического и статического зондирования;

сопоставляются результаты проходки горных выработок с результатами геофизических и зондировочных работ;

оформляется в законченном виде документация на изучение свойств грунтов полевыми методами и на полевые опытные работы;

заполняется сводная ведомость результатов лабораторного изучения классификационных показателей свойств грунтов и результатов изучения свойств грунтов полевыми методами с группировкой этих результатов по инженерно-геологическим элементам;

строятся инженерно-геологические разрезы с показом последовательности залегания и взаимоотношений инженерно-геологических элементов в пределах изучаемой территории;

строятся карты (планы) по участку проведения работ с показом распространения или глубин залегания важных, с точки зрения проектиро-

¹ Прочность на растяжение и скалывание для скальных и полускальных грунтов, прочность на сжатие и растяжение для глинистых грунтов в практике инженерно-геологических изысканий определяются весьма редко по специальным заданиям.

вания конкретного сооружения, элементов геологической среды или показом распространения на определенных глубинах от земной поверхности видов и разновидностей грунтов.

Объем и содержание работ по обработке фактического материала в поле определяются задачами инженерно-геологической разведки, сформулированными в программе.

Результаты этих работ используются с целью уточнения программы и организации полевых работ, постоянного контроля за качеством проведения работ, уточнения положения в пространстве точек отбора образцов, номенклатуры лабораторных определений, выполняемых в стационарной лаборатории, положения границ выделенных инженерно-геологических элементов.

Контроль за качеством полевых работ при проведении инженерно-геологической разведки включает:

контроль за соблюдением предусмотренной программой технологии проведения отдельных видов работ (буровых, горных, геофизических, опытных и др.);

контроль за правильностью измерений (измерением расстояний, глубин, снятием отсчетов с приборов и пр.);

контроль за правильностью описаний и графических построений (описанием характерных особенностей грунтов и соблюдением правил графических построений);

контроль за объективностью обобщений (интерпретацией данных зондировочных и геофизических работ, обобщением данных лабораторных работ и т. д.).

Все перечисленные виды контроля должны осуществляться непрерывно на всех уровнях от непосредственных исполнителей (буровых мастеров, техников и лаборантов) до руководителей изыскательских организаций и подразделений.

Необходимыми формами контроля за качеством работ являются систематические проверки (как плановые, так и внеплановые) со стороны руководителей подразделений и организаций, а также приемка полевых материалов по окончании полевых работ, оформляемая соответствующим актом.

Привязка всех горных выработок и точек проведения других видов полевых исследований проводится инструментально после завершения полевых работ на всей территории изысканий в целом или на отдельных ее участках.

Все горные выработки после их документации или после проведения в них опытных работ тщательно тампонируются или засыпаются.

Просадочность грунтов характеризуется относительной просадочностью и начальным просадочным давлением, определяемым в лабораторных условиях.

Набухаемость грунтов характеризуется относительной величиной свободного набухания при увлажнении набухающих грунтов. Необходимо также знать величину относительного набухания.

Производство полевых работ при инженерно- геологической разведке начинается с выноса в натуру (на местность) контуров проектируемого сооружения или проектируемого комплекса с выделением в пределах этого контура отдельных частей, в пределах которых предполагаются различные условия воздействия сооружения на геологическую среду.

Расчет метода деформации по результатам компрессионных испытаний может быть использован для всех видов песчаных и глинистых грунтов естественного и нарушенного сложения, не содержащих грубо-обломочного материала.

Расчет модуля деформации по результатам компрессиональной и естественной съемки производится по формуле

$$E_0 = \beta \frac{1 + \varepsilon_1}{a},$$

где E_0 — общий модуль деформации, кгс/см²;

ε_1 — коэффициент пористости, соответствующий по компрессионной кривой нагрузке σ_1 ;

a — коэффициент сжимаемости, определяемый для интервала нагрузок $\sigma_1 - \sigma_{21}$ см²/кгс;

β — коэффициент физического смысла которого определяется особенностями поведения грунта при сжатии в условиях невозможности бокового расширения в отличие от естественных условий залегания.

Численно β равно: для глин — 0,43

для суглинков — 0,57

для супесей — 0,72

для песков — 0,26

Основные схемы испытания глинистых грунтов лабораторными методами при инженерно-геологических изысканиях приводятся в таблице 10.5.

Таблица 10.5

Основные схемы испытаний глинистых грунтов лабораторными методами при инженерно-геологических изысканиях

Номенклатурный вид грунта и его физическое состояние	Компрессионные испытания		Сопротивление сдвигу	
	схема испытаний	область применения	схема испытаний	область применения
1	2	3	4	5
текучий $V > 1$; текучепластичный $0,75 < V < 1$	Под водой малыми ступенями нагрузок	Для слабых водонасыщенных грунтов и грунтов, залегающих ниже уровня грунтовых вод	1. Быстрый сдвиг в естественном состоянии (без предварительного уплотнения) малыми вертикальными нагрузками	Применяется для оценки прочности грунтов в начале строительного периода, когда отсутствует консолидация грунта под нагрузкой
	а) без заливки воды	Для грунтов, залегающих выше и ниже уровня грунтовых вод	2. Медленный сдвиг с предварительным уплотнением (уплотнение производится малыми ступенями нагрузок)	Схема соответствует периоду строительства или эксплуатации сооружения, когда в условиях возможности дренирования происходит полная консолидация грунта под нагрузкой
мягкопластичным $0,5 < V \leq 0,75$	б) с насыщением водой в условиях переменного или ограниченного объема;	Для грунтов, неперпевающих увлажнение в период строительства и эксплуатации сооружения	1. Быстрый или ускоренный сдвиг в естественном состоянии, без предварительного уплотнения	Схема соответствует началу строительного периода, когда нет консолидации грунта под нагрузкой
тугопластичный $0,25 < V \leq 0,5$				

Продолжение табл. 10.5

282

1	2	3	4	5
полутвердый $0 < 5 \leq 0,25$	в) в условиях свободного набухания и последующего сжатия	Для оценки поведения грунта в котлованах, простоявших длительное время открытыми до возведения сооружений (толща грунта претерпевает разгрузки)	2. Медленный сдвиг с предварительным уплотнением (без воды)	Схема применяется для оценки прочности грунтов после их полной консолидации под нагрузками от сооружения, без взаимодействия грунтов с водой (конец строительного периода и период эксплуатации)
твердый $B < 0$			Медленный сдвиг без предварительного уплотнения	Схема соответствует поведению грунта в основании сооружений при обычных нагрузках (без водонасыщения)
Набухающий	а) с насыщением водой в условиях неизменного или ограниченного объема б) в условиях свободного набухания и последующего сжатия	Для оценки свойств набухающих грунтов, испытывающих дополнительное водонасыщение в условиях строительства	1. Быстрый или ускоренный сдвиг после предварительного свободного набухания 2. Быстрый, ускоренный или медленный сдвиг после ограниченного набухания (под заданными нагрузками)	Применяется для оценки прочности набухающих грунтов в котлованах и откосах выемок Применяется для оценки прочности набухающих грунтов, взаимодействующих с водой, под нагрузками от сооружения

Продолжение табл. 10.5

1	2	3	4	5
Просадочные	а) по методу двух кривых при ступенчатом нагружении	Для предварительной оценки величины просадочности	1. Быстрый или медленный сдвиг грунтов в естественном состоянии (в зависимости от состояния и прочности грунтов)	Применяется для оценки прочности в их естественном физическом состоянии до замачивания
	б) по методу одной кривой при ступенчатом нагружении под несколькими нагрузками	Для получения величины просадочности	2. Медленный сдвиг после уплотнения и водонасыщения	Применяется для оценки прочности в стадии после просадочных деформаций (в условиях замачивания и длительной эксплуатации сооружения)
	в) по методу одной кривой при ступенчатом нагружении при длительных компрессионных испытаниях с непрерывной фильтрацией	Для определения величины просадочных деформаций	<i>Примечание.</i> Для оценки сопротивления сдвигу грунтов в стадии просадочных деформации рекомендуется проводить быстрый сдвиг под малыми вертикальными нагрузками после замачивания грунта.	

11 ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ

Производственная деятельность человека в сочетании с мощными техническими средствами оказывает огромное воздействие на окружающую среду. При этом во многих случаях это воздействие является крайне отрицательным и приводит к необратимым процессам в атмосфере, гидросфере, земной коре, которые оказывают пагубное влияние на органический мир, включая и человека. В связи с этим следует иметь в виду, что строительные работы являются по существу первым шагом в интенсивном воздействии человека на природу, поскольку они приводят к созданию населенных пунктов, промышленных объектов, ведению горных работ, появлению машинного парка и прочих объектов, непосредственно влияющих на окружающую среду. Поэтому уже на стадии проектов, а в последующем и строительных работ необходимо предусмотреть мероприятия, которые свели бы до минимума вредное воздействие человеческой деятельности на окружающую среду. В связи с этим в данной главе кратко рассматриваются вопросы, связанные с особенностями влияния строительных работ и других видов инженерной деятельности человека на природу и меры по ослаблению отрицательного воздействия этой деятельности на окружающую среду.

Непосредственными объектами воздействия инженерной деятельности являются земные недра, водные ресурсы, атмосфера и органический мир.

Недра земли являются одним из важнейших факторов, обеспечивающих жизнь современного человека. Достаточно напомнить, что около 80 % потребностей человека удовлетворяются в настоящее время за счет материальных ценностей, извлекаемых из земных недр. К земным недрам относятся и почвы, на которых располагаются сельскохозяйственные угодья, и та верхняя часть земной коры, которая служит источником добычи различных полезных минералов и горных пород, используемых человеком, включая и подземные воды, обеспечивающие в крупных населенных пунктах около половины потребностей в водоснабжении. Ценность и значимость этих объектов человеческой деятельности усугубляется еще и тем, что они относятся к невозобновляемым ресурсам, поскольку будучи извлеченными из недр, они не могут вновь возникнуть на протяжении жизни человечества. Исключение составляют только подземные воды, да и то на их полное возобновление в некоторых подземных бассейнах требуются тысячи и десятки тысяч лет. Этим и объясняет-

ся необходимость особенно бережного отношения к земным недрам. Почвы являются одним из важнейших источников продуктов питания для человека и сельскохозяйственных животных. Но этот источник довольно ограничен. В настоящее время во всем мире в обработке находится 1,5 млрд. гектаров пахотных земель, а потенциально пригодных земель, которые могут быть включены в севооборот, имеется еще около 1,7 млрд. гектаров. Но для того чтобы использовать эти резервы, потребуются колоссальные затраты на мелиоративные работы по превращению таких земель в сельскохозяйственные угодья. Кроме того, часть пригодных для обработки земель ежегодно отводится под строительство различных объектов (городов и поселков, заводов и фабрик, дорог, гидротехнических сооружений, трубопроводов и т. д.). Значительная часть почв теряет свое плодородие вследствие нерационального ведения сельскохозяйственных работ, способствующих усиленной эрозии (по этой причине ежегодно теряется до 200 т/га почвенного материала). В то же время в почву поступает большое количества веществ, включая удобрения, гербициды, ухудшающих состав почв, а следовательно, и их плодородие и качество продукции. Так только за счет выбросов в атмосферу продуктов деятельности промышленных предприятий в почву ежегодно поступает до 350 кг/га вредных веществ. Значительные площади плодородных земель подвергаются затоплению, а также подтоплению и засолению в процессе строительства и эксплуатации различных гидротехнических сооружений. Наряду с обычным и постоянным смывом почвы значительный ущерб сельскохозяйственным угодьям наносят временные (селевые) потоки в предгорных районах, а также оползни на склонах. Изложенные факторы, приводящие к разрушению почвенного слоя, требуют огромных затрат на защитные мероприятия, но эти мероприятия необходимо осуществлять, памятуя, что земля является самым ценным богатством народа. Важнейшими мероприятиями, способствующими, сохранению и улучшению их свойств, являются следующие:

Для улучшения плодородия почв важнейшим мероприятием является комплексная мелиорация, включающая осушение, обводнение и орошение земель. Опыт показывает, что эти работы следует осуществлять по строго продуманной и научно обоснованной программе для каждого региона. Любые мелиоративные работы являются вторжением в природу и если какой-либо фактор не учитывается, то это может привести к отрицательным результатам. Примером такого непродуманного подхода к мелиорации явилось, например, осушение и распашка лугов в Нечерно-

земной зоне России, которые превратило эти земли в непригодные для дальнейшего использования.

В целях борьбы с эрозией применяется целый комплекс мероприятий. Одним из важнейших средств борьбы с эрозией является посадка полезащитных лесных систем. Кроме закрепления почвенного покрова корневой системой растений, лесополосы и лесные массивы являются местом обитания полевых птиц и нескольких, способствующих опылению растений и уничтожению вредителей посевов, что в свою очередь, приводит к уменьшению применения ядохимикатов. Одновременно выполняются работы по закреплению балок и оврагов, что содействует ослаблению водной и ветровой эрозии.

К важнейшим средствам борьбы с оползнями являются склоноукрепительные работы (устройство подпорных стенок, шпилек и т. п.) и особенно дренажные сооружения, устраняющие причины развития оползней. В местах развития селей обычно прибегают к устройству селевых ловушек или строительству противоселевых плотин. Ярким примером таких сооружений является плотина в урочище Медео вблизи г. Алма-Ата. Большой ущерб почвам наносит гидротехническое строительство. При строительстве гидроузлов создаются водохранилища, которые затопливают многие сотни тысяч гектаров плодородных земель. Особенно большие потери при этом отмечаются на равнинных реках. Таковы, например, Куйбышевское, Рыбинское водохранилище на Волге, Каховское, Кременчугское на Днестре и многие другие. Всего в настоящее время в мире затоплено 350 тыс. км² плодородных земель. Кроме того, на созданных водохранилищах под влиянием волн происходит интенсивная переработка берегов, развитие оползней, обвалов и т. п., что способствует дальнейшему разрушению почв на прилегающих территориях. Вместе с тем при общем изменении водного режима на обширных участках, прилегающих к водохранилищам и каналам, происходит подъем уровня грунтовых вод, подтопление территорий и последующее их заболачивание или засоление почв. В связи с этим необходимо при проектировании и строительстве гидроузлов осуществлять тщательные и всеобъемлющие инженерно-технические исследования при комплексном подходе к выбору мест строительства.

При строительстве водохранилищ, особенно на равнинных реках, следует прибегать к воздействию дамб, обвалований, как это широко применялось в Западной Европе, с целью резкого сокращения затопления территорий, создание противоволновых и противооползневых со-

оружий в прибрежных участках водохранилищ, гидроизоляция каналов и т. д. При прокладке трубопроводов также нарушается почвенный слой на обширных пространствах. Совершенно необходимо в этих случаях на время строительства убирать и складировать почвенный слой с последующей рекультивацией и возвращением его в разрушенные строительством участки.

Значительный ущерб окружающей среде наносят горные работы, связанные с разведкой и разработкой полезных ископаемых. Та часть горных работ, которая ведется открытым способом, т. е. с поверхности в виде карьеров, приводит, прежде всего, к исключению из обработки значительной части земель, включая и плодородные. В большинстве случаев карьеры действуют как дренажные устройства, снижают уровень подземных вод и осушают прилегающие участки. Таким же образом влияют и подземные горные выработки. Кроме того, под отвалами горных пород, извлеченных при ведении горных работ, а также под карьерами заняты значительные территории, создающие специфический техногенный ландшафт. Так в США эти площади составляют свыше 5 млн. гектаров. Еще более вредным является косвенное воздействие горных работ на окружающую среду. Многие вещества, извлекаемые из недр и уходящие в отвалы, обладают высокотоксичными свойствами (особенно соединения мышьяка, кадмия, таллия и др.) и, разносясь текучими водами и ветром, способны нанести непоправимый ущерб огромным пространствам, прилегающим к местам непосредственного ведения горных работ. Если учесть, что через каждые 8–10 лет объемы добычи полезных ископаемых удваиваются, становится совершенно очевидной угроза окружающей среде в результате ведения горных работ.

Важнейшим мероприятием, уменьшающим вредное воздействие горных работ на окружающую природу, является рациональное ведение этих работ. С этой целью предусматриваются различные целесообразные способы ведения горных работ. При этом широко применяется закладка выработанных пространств при подземных работах, без извлечения на поверхность той части горных пород, которые не являются полезными ископаемыми. Отвалы карьеров, а также извлекаемых из подземных выработок и используемые породы размещаются в неровностях рельефа (оврагах, балках, заброшенных карьерах и т. п.). Этим достигается не только уменьшение полезных земель, занятых отвалами, но также ослабление эрозионной деятельности текучих вод. Чрезвычайно важной мерой по охране окружающей среды является комплексное использова-

ние полезных ископаемых. С применением новых технологических процессов в настоящее время имеется возможность осуществлять практически полную переработку минерального сырья, включая и то, которое раньше представляло собой отходы производства. Например, попутное производство из ранее неиспользовавшегося сырья позволяет на предприятиях цветной металлургии добыть около 10 % меди, свинца, цинка и около 20 % серной кислоты от общего объема их производства в стране.

Огромное количество горных пород из отвалов горного и металлургического производства могут широко использоваться на предприятиях промышленности строительных материалов для изготовления шлакоблоков, щебня, цемента, силикатного кирпича, стекла, огнеупоров, фаянса и других изделий. Зола горючих сланцев широко используется для известкования кислых почв.

Наиболее важным охранным мероприятием является рекультивация земель, нарушенных при ведении горных работ. Под рекультивацией подразумевается комплекс различных работ, имеющих целью возвращение нарушенным землям их плодородия, восстановление гидрогеологического режима, прекращение загрязнения воздуха и водной среды, а также в конечном счете улучшение микроклимата и общих санитарно-гигиенических условий.

Рекультивированные земли могут быть превращены в сельскохозяйственные угодья, лесные массивы, использованы для рыбозаведения и зон отдыха путем устройства искусственных водохранилищ, пляжей и т. п.

При этом создается новый ландшафт, отвечающий эстетическим потребностям населения. Разнообразие природных условий приводит к необходимости применения различных методов рекультивации. Для осуществления этих задач чаще всего прибегают к перепланировке поверхности отвалов, покрытие их плодородным слоем почвы, который в начале работ убирается и складывается. Часто также производится селективное формирование отвалов, что способствует ускоренному почвообразованию, особенно в сочетании с посевом на отвалах азотфиксирующих бактерий. В конечном итоге рекультивированные земли засеиваются многолетними травами, злаковыми растениями, либо кустарниками и деревьями. Зачастую значительные площади рекультивированных земель используются под застройку.

Водные ресурсы также нуждаются в надежной охране и защите, поскольку им наносится большой ущерб в результате инженерной деятельности человека. Это тем более важно, что вода является по существу

самым ценным минералом на Земле, поскольку она совершенно необходима для существования всего живого, в том числе человека, и не может быть заменена каким-либо другим веществом. С целью охраны водных ресурсов необходимо прежде всего определить источники загрязнения вод и разработать методы предупреждения такого загрязнения и способы очистки вод. При этом следует иметь в виду, что из потребляемой крупными населенными пунктами воды для промышленных и бытовых целей 5/6 ее возвращается в природу в виде загрязненных сточных вод. Следовательно, важнейшим фактором сохранения чистоты вод является предохранение их от загрязнения различными веществами — минеральными и органическими. Минеральные вещества — это разнообразные минералы в твердом состоянии (песчаные, пылеватые, глинистые частицы), а также растворенные минеральные соли, кислоты и другие вещества. Органические вещества — это продукты разложения животных и растений, различные бытовые отходы, масла и т. п. Бактериальные вещества — различные микроорганизмы, возникающие в процессе разложения органических веществ. Загрязнение поверхностных вод за последнее время столь велико, что практически во всех странах принят целый ряд законодательных актов, имеющих целью защиту рек и водоемов от загрязнения. Воздействию различных неблагоприятных факторов подвержены также и подземные воды. Источниками загрязнения подземных вод являются: загрязненные реки и водоемы, имеющие гидравлические связи с подземными водами, удобрения и пестициды, вносимые в обрабатываемые земли, места хранения и транспортировки промышленных и бытовых стоков, атмосферные осадки, загрязняющиеся при соприкосновении с различными источниками загрязнения и другие факторы.

Охрана подземных вод приобретает особо важное значение потому, что населенные пункты используют подземные воды для питьевых целей (до 50% в общем потреблении, а в сельской местности значительно больше). Поверхностные водоемы обладают способностью к самоочищению, которое происходит вследствие постепенного разбавления вредных примесей, перемешивания вод, осаждения взвешенных частиц, воздействия микроорганизмов, а также ультрафиолетового излучения Солнца. Вместе с тем важнейшее значение имеют мероприятия по искусственной очистке вод. При этом широко применяются механические, химические, химические и биологические методы очистки. Механическая очистка заключается в отделении минеральных и других твердых частиц и удалении их из воды. Для этого используются отстойники, фильтры,

центрифуги, при помощи которых могут быть убраны твердые частицы любых размеров. Химическая очистка имеет своей целью либо нейтрализацию вредных веществ (путем воздействия щелочами на кислоты или кислотами на щелочь), либо образование нерастворимых веществ, выпадающих в осадок, а затем удаляющихся механическим способом. Биологическая очистка осуществляется воздействием особых бактерий и других живых организмов на органические вещества, содержащиеся в сточных водах, расщепление этих веществ и превращение их в минеральные соединения. Для естественной биологической очистки применяют поля фильтрации, поля орошения, а при искусственной биологической очистке — специальные биологические фильтры. Несомненно, наиболее рациональным способом предохранения водоемов от загрязнения промышленными стоками является применение замкнутых технологических схем, при которых использованные воды после очистки вновь используются в производственном процессе.

Охрана атмосферы имеет одно из важнейших значений для сохранения и поддержания благоприятных условий жизни людей. Известно, что весь воздух, окружающий планету, проходит через живые организмы, включая человека, примерно за десять лет. Таким образом общие запасы чистого воздуха составляют незначительный резерв для жизни на Земле, ограниченный этим сроком. Важным является сохранение процентного соотношения важнейших газов, входящих в состав атмосферы. Нарушение этого соотношения приводит к различным отрицательным явлениям. Так, повышение содержания двуокиси углерода способствует развитию парникового (тепличного) эффекта, поскольку препятствует инфракрасному (тепловому) излучению Земли; незначительное повышение содержания окислов азота, водорода, хлора, брома — вызывает разрушение озонового слоя, защищающего все живое на Земле от жесткого ультрафиолетового излучения и т. д.

Основными источниками загрязнения атмосферы являются выхлопные газы автотранспорта и выбросы промышленных предприятий. В значительно меньшей степени загрязняют атмосферу различные объекты сельскохозяйственного производства. Исключительно отрицательное влияние на атмосферу выхлопных газов обусловлено тем, что в фотохимическом тумане («смог») в ходе фотохимических реакций образуются различные соединения, которые по своей токсичности превосходят исходные вредные продукты. Существенное влияние на загрязнение атмосферы оказывают промышленные предприятия (металлургические заво-

ды, нефтеперерабатывающие и нефтехимические комплексы, предприятия химической промышленности, заводы по производству цемента и других строительных материалов), а также предприятия агропромышленного комплекса.

В процессе работы металлургических предприятий в атмосферу выбрасываются вместе с доменным газом соединения мышьяка, фосфора, сурьмы, фтора, свинца, пары ртути и редких металлов, различные смолы и т. п. Так на 1 тонну произведенного чугуна выброс пыли составляет 4,5 кг, сернистого газа 2,7 кг, марганца до 0,6 кг. Выброс сернистого газа при производстве агломерата составляет до 190 кг на 1 тонну руды. При выплавке 1 тонны алюминия в атмосферу уходит до 30 кг фтора. Таким образом, металлургические предприятия являются одними из главных загрязнителей атмосферы.

Нефтеперерабатывающие и нефтехимические предприятия выбрасывают в атмосферу большое количество различных углеводородов, сероводорода и других дурнопахнущих газообразных веществ. При производстве синтетического каучука в атмосферу поступают такие вредные вещества, как стирол, дивинил, толуол, изопрен, ацетон и др.

Предприятия химической промышленности выбрасывают в атмосферу окиси углерода и азота, аммиак, сероуглерод, сероводород, хлористые и фтористые соединения и другие вредные для здоровья человека вещества. При производстве цемента и других строительных материалов атмосфера загрязняется различной пылью, являющуюся продуктом измельчения и термической обработки сырья.

Предприятия агропромышленного комплекса иногда также существенно влияют на состояние атмосферы. Источниками ее загрязнения являются животноводческие фермы, мясокомбинаты, теплосиловые установки и особенно склады различных минеральных удобрений и ядохимикатов, а также поля, где эти вещества используются.

Совместное влияние всех факторов, загрязняющих атмосферу, огромно. По данным экспертов ООН только сернистых соединений в атмосферу Европы, США и Канады ежегодно выбрасывается около 100 млн. тонн. Большая часть этих соединений, соединяясь с водными парами, выпадает в виде «кислотных дождей», причиняющих огромный ущерб сельскохозяйственным угодьям (закисление почвы), снижают урожаи, корродируют металлы и, что особенно важно, неблагоприятно влияют на здоровье людей.

Для борьбы с загрязнением атмосферы применяются разнообразные методы. Важнейшее значение имеют гидростроительные меры, способствующие снижению выхлопных газов автотранспорта. Эти меры сводятся к отделению автомагистралей от строений зеленой зоной и регулированием этажностей участков застройки, строительство магистралей в обход городов и другие. Кроме того, следует широко применять перевод автотранспорта на дизельное топливо, уменьшающее выброс вредных веществ в атмосферу, использование жидкого газа в качестве топлива, применение катализаторов для очистки отработанных газов и т. п.

Уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу различными промышленными предприятиями достигается путем улавливания, утилизации и обезвреживания веществ в результате газоочистки. Кроме того широко используются прогрессивные технологические процессы, позволяющие комплексно использовать природные ресурсы и одновременно снижающие или полностью исключаящие вредное воздействие на окружающую среду различных производств. При этом отходы одного производства используются как сырье для другого производства, что принципиально соответствует процессам, протекающим в природе.

Органический мир также подвержен значительному вредному воздействию со стороны техногенных факторов. Забота об органическом мире (растительном и животном) является особенно важной для обеспечения нормальных условий существования человечества. Следует помнить, что растительность играет решающую роль для развития жизни на Земле, поскольку она создает условия для существования животного мира, включая человека. Лесные массивы играют важнейшую роль в регулировании кислородного баланса в атмосфере, обеспечивая таким образом необходимые условия существования жизни на нашей планете. Так, например, один гектар леса за год поглощает 5–10 тонн двуокиси углерода, выделяя при этом кислород. Лесопарковые зоны вокруг городов являются источником кислорода, защищают города от неблагоприятных ветров, распространения пыли, выделяют фитонциды-вещества, уничтожающие многие болезнетворные бактерии и оздоравливающие атмосферу. Выше уже указывалось, что растительный покров регулирует гидрогеологический режим, защищает почвы от эрозии и т. д. Вместе с тем лес является местом обитания различных животных и птиц, полезных для человека. В связи с этим при застройке новых территорий и расширении существующих городов необходимо проявлять особую заботу о сохранении и расширении лесных массивов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глинистые породы Украины. — К. : Наукова Думка, 1982. — 122 с.
2. Канский Н. В. Об особенностях постдиагенетических преобразований и изменении коллекторских свойств пород глубоких горизонтов Днепровско-Донецкой впадины, Доклады / Н. В. Канский. — АН СССР, — 1977. — т. 285, №2. — 216с.
3. Логвиненко Н. В. Постдиагенетические изменения осадочных пород / Н. В. Логвиненко. — Л. : Наука, 1968. — 92 с.
4. Мило Ж. Геология глин / Ж. Мило. — Л. : Недра, 1968. — 59 с.
5. Ткачук Л. Г. Обломочные породы Украины / Л. Г. Ткачук. — Е. : Наукова Думка, 1981. — 351 с.
6. Перозио Г. Н. Эпигенез терригенных осадочных пород Западно-сибирской низменности / Г. Н. Перозио. — М. : Недра, 1971. — 160 с.
7. Рухин Л. Б. Основы литологии / Л. Б. Рухин. — Л.–М. : Гостоптехиздат, 1953. — 672 с.
8. Страхов Н. М. Основы литологии / Н. М. Страхов. — М. : АН СССР. — Т. 1., 1960. — 212 с.
9. Эпигенез и его минеральные индикаторы, АН СССР, ГИН : 1971. — вып. 221. — 170 стр.
10. Борзунов В. М. Поиски и разведка месторождений минерального сырья для промышленности строительных материалов. / В. М. Борзунов, М. Б. Григорович и др. — М. : Недра, 1968. — 216 с.
11. Ельшин И. М. Строителю об охране окружающей среды / И. М. Ельшин. — М. : Стройиздат, 1986. — 136 с.
12. Маслов Н. Н. Инженерная геология / Н. Н. Маслов. — М. : Госстройиздат, 1957. — 408 с.
13. Маслов Н. Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии / Н. Н. Маслов. — М. : Высшая школа, 1968. — 630 с.
14. Мушкетов Д. И. Курс общей геологии / Д. И. Мушкетов. — М. : Госгеонефтеиздат, 1934. — 403 с.
15. Справочник по инженерной геологии. — 3-е изд.; под. ред. М. В. Чурикова — Высшая школа, 1981. — 325 с.
16. Критский В. В. Краткий курс минералогии и петрографии с начальными сведениями по кристаллографии / В. В. Критский, С. Д. Четвериков — М., 1955. — 280 с.
17. Дранников А. М. Инженерная геология / А. М. Дранников. — К. : Госстройиздат, 1959. — 224 с.
18. Лазаренко Е. К. Курс минералогии / Е. К. Лазаренко. — М. : Высшая школа, 1971. — 607 с.
19. Белоусова О. И. Общий курс петрографии / О. И. Белоусова, В. В. Михнина. — М. : Недра, 1972. — 344 с.
20. Миллер Л. Инженерная геология, механика скальных массивов / Л. Миллер. — М. : Мир, 1971. — 255 с.
21. Инженерно-геологические изыскания. М. : Госстройиздат, 1950. — 204 с.
22. Пешковский А. М. Инженерная геология / А. М. Пешковский. — М. : Высшая школа, 1982. — 341 с.
23. Булгаков С. Н. Строительное дело / С. Н. Булгаков. — М. : Стройиздат, 1980. — 317 с.

24. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика / В. Д. Ломтадзе. — Л. : Недра, 1977. — 480 с.
25. Котлов Ф. В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека / Ф. В. Котлов. — М. : Недра, 1978. — 263 с.
26. Молоков Л. А. Взаимодействия инженерных сооружений с геологической средой / Л. А. Молоков. — М. Недра, 1988. — 220 с.
27. Панюков П. Н. Инженерная геология / П. Н. Панюков. — М. : Недра, 1978. — 296 с.
28. Чернышев С. Н. Задачи и упражнения по инженерной геологии / С. Н. Чернышев. — М. : Высшая школа, 2002. — 255 с.
29. Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород / Н. В. Логвиненко. — М. : Высшая школа, 1967. — 416 с.
30. Гольдштейн М. Н. Механика грунтов, основания и фундаменты / М. Н. Гольдштейн. — М. : Трансстрой, 1981. — 145 с.
31. Кузнецов Е. А. Краткий курс петрографии магматической и метаморфических пород / Е. А. Кузнецов. — М. : МГУ, 1970. — 326 с.
32. Скабалланович И. А. Инженерная геология, гидрогеология и осушение месторождений / И. А. Скабалланович. — М. : Недра, 1989. — 292 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Минералогия (главнейшие породообразующие минералы).....	10
1.1 Условия образования и распространения минералов.....	10
1.2 Важнейшие физические свойства минералов.....	12
1.3 Формы минеральных агрегатов.....	15
1.4 Принципы классификации минералов.....	18
1.5 Описание минералов.....	19
2. Петрография (важнейшие горные породы).....	50
2.1 Условия образования горных пород.....	50
2.2 Формы залегания горных пород.....	52
2.3 Структура и текстура горных пород.....	54
2.4 Принципы классификации горных пород.....	58
2.5 Описание горных пород.....	66
3 Общие сведения о строении Земли.....	130
3.1 Форма, размеры и строение Земли.....	130
3.2 Строение земной коры.....	134
3.3 Краткая история развития Земли.....	136
3.4 Основные структурные элементы земной коры.....	140
4 Виды физико-геологических процессов.....	143
4.1 Эндогенные процессы.....	144
4.2 Экзогенные процессы.....	157
5 Основы гидрогеологии (Подземные воды)	179
5.1 Круговорот воды в природе.....	179
5.2 Основные понятия гидрогеологии.....	180
5.3 Состав и свойства распространения подземных вод.....	181
5.4 Физические свойства подземных вод.....	184
5.5 Химический состав подземных вод.....	187
5.6 Качество подземных вод.....	191
5.7 Зональность подземных вод.....	193
5.8 Распространение подземных вод.....	194
5.9 Использование подземных вод.....	196
5.10 Виды движения подземных вод.....	196
5.11 Условия образования подземных вод.....	198
5.12 Характер залегания подземных вод.....	200
5.13 Гидрогеологические карты.....	201
5.14 Определение притоков воды в горные выработки.....	203
6 Инженерная геология (грунтоведение).....	210
6.1 Понятие о грунтах.....	210
6.2 Инженерно-геологическая классификация грунтов.....	210
6.3 Важнейшие физические свойства грунтов.....	213

7 Региональная инженерная геология.....	222
7.1 Принцип инженерно-геологического районирования.....	222
7.2 Характеристика инженерно-геологических условий крупнейших структурных элементов земной коры.....	223
8 Методы инженерно-геологических исследований.....	226
8.1 Цели и задачи инженерно-геологических исследований.....	226
8.2 Полевые методы инженерно-геологических исследований.....	227
8.3 Лабораторные исследования.....	231
8.4 Камеральные работы.....	234
8.5 Инженерно-геологические исследования на различных стадиях проек- тирования.....	249
9 Особенности инженерно-геологических исследований для различных видов строительства.....	251
9.1 Инженерно-геологические исследования при застройке городов.....	251
9.2 Инженерно-геологические исследования для промышленного и граж- данского строительсва.....	252
9.3 Инженерно-геологические исследования для дорожного строительства	253
9.4 Инженерно-геологические исследования для горного строительства...	256
9.5 Инженерно-геологические исследования для гидротехнического строительства.....	257
10 Изучение сырьевой базы для строительства.....	261
10.1 Поиски и разведка строительных материалов.....	261
10.2 Виды работ и методы их выполнения.....	269
11 ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ.....	284
Список литературы.....	293

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Е. Ф. Шкурский
Ж. И. Долина
В. Е. Лисица

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ
И
ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Учебное пособие

В редакции автора

Компьютерная верстка

Художественное оформление обложки

Н. В. Пупкова

А. А. Дудка

Заказ № 86/2015

Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага офс.

Усл. печат. л. 17,3 Уч.-изд. л. 14,9

Издательство не несет ответственность за содержание
материала, предоставленного автором к печати.

Издатель и изготовитель:

Донбасский государственный технический университет

пр. Ленина, 16, г. Алчевск, Луганская обл., 94204

(Издательство "ЛАДО", ауд. 2113, т/факс 2-58-59)

Свидетельство субъекта издательского дела серия ДК № 2010 от 12.11.2004