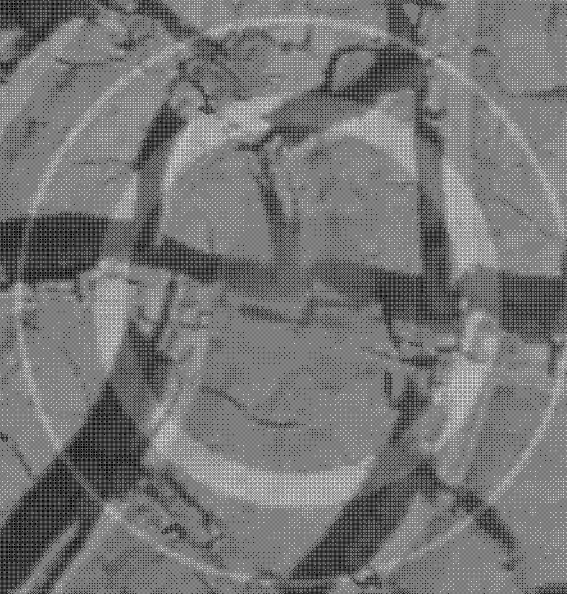


В.П.Ананьев

А.Д.Потапов

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ



В.П.Ананьев А.Д.Потапов

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

**Издание третье, переработанное
и исправленное**

**Рекомендовано Министерством
образования Российской Федерации
в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений,
обучающихся по строительным
специальностям**



**Москва
«Высшая школа»
2005**

УДК 550.8
ББК 26.3
А 64

Рецензенты:

кафедра инженерной геологии, механики грунтов, оснований и фундаментов
Московского института коммунального хозяйства и строительства (зав. кафедрой
канд. геол.-минерал. наук, доц. *Н.А. Филькин*); д-р геол.-минерал. наук, проф.
В.М. Кутенов

Ананьев, В.П.

А 64 Инженерная геология: Учеб. для строит. спец. вузов /
В.П. Ананьев, А.Д. Потапов. — 3-е изд., перераб. и испр. — М.:
Выш. шк., 2005. — 575 с.: ил.

ISBN 5-06-003690-1

Рассмотрены главные принципы и законы инженерной геологии как науки о рациональном использовании геологической среды при строительстве. Изложены необходимые сведения из общей геологии, минералогии, петрографии, геоморфологии. Приведены принципиальные положения гидрогеологии. Подробно рассмотрены законы генетического грунтоведения. Оценены главные физико-геологические и инженерно-геологические процессы, механизм их проявления и основные способы предотвращения и локализации. Приведены данные по региональным особенностям инженерно-геологической обстановки в Российской Федерации и других странах мира.

Изложены основные принципы инженерно-геологических изысканий для различных видов строительства, их организация, методы и способы осуществления, приведены основные приборы и оборудование, методология анализа и интерпретации данных в различных геолого-климатических районах.

Даны главные положения охраны геологической среды при строительстве.

Для студентов строительных специальностей вузов. Может быть полезен инженерам, а также преподавателям.

УДК 550.8
ББК 26.3

ISBN 5-06-003690-1

© ФГУП «Издательство «Высшая школа», 2005

Оригинал-макет данного издания является собственностью издательства «Высшая школа», и его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия издательства запрещается.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное издание претерпело определенные изменения на основе анализа использования 2-го издания учебника в учебном процессе многих вузов России. Книга написана в соответствии с вновь разработанной и утвержденной примерной программой дисциплины «Инженерная геология» согласно действующим примерным учебным планам подготовки дипломированных специалистов по направлению «Строительство» в рамках Государственного образовательного стандарта.

Учебник подготовлен на базе современных представлений об инженерно-геологической науке и ее новейших достижениях.

В данном издании переработан текст, обновлены материалы в соответствии со вновь введенной в действие нормативной литературой в области строительства, особенно такие разделы, как генетическое грунтоведение, основы гидрогеологии, охрана природной геологической среды.

В третьем издании сохранена универсальность содержания учебника с целью использования студентами разных специальностей и направлений подготовки строителей и архитекторов. При определенных методических приемах учебник может быть полезен для студентов средних специальных учебных заведений.

Учебник может быть использован как методическое и практическое руководство инженерами-строителями в производственной и проектно-конструкторской деятельности, а также специалистами изыскательских организаций.

3-е издание учебника «Инженерная геология» рассматривается как базовый элемент учебно-методического и дидактического обеспечения данной дисциплины и предусматривает возможность использования как рекомендованного Министерством образования РФ учебного пособия «Задачи и упражнения по инженерной геологии» (С.Н. Чернышев, А.Н. Чумаченко, И.Л. Ревелис), так и внутривузовских учебных пособий и методических указаний, что в целом должно значительно повысить качество приобретаемых студентами знаний в инженерной геологии.

Учебник ориентирован на использование преподавателями строительных вузов в их практической работе.

При разработке 3-го издания учебника использованы иллюстративные и фактические материалы, любезно предоставленные проф. Милинко Васичем из Университета Нови Сад. В написа-

нии глав 9, 16, 25 и 34 принял участие профессор, канд. техн. наук Г.А. Паушкин.

Авторы благодарят за помощь в редакционной работе над текстом учебника и составлением словаря ст. преп. Т.Г. Богомолу, а также за помощь в подготовке рукописи 3-го издания учебника инженеров И.О. Богомолу и А.В. Манько.

Авторы признательны за ценные замечания и предложения, высказанные проф. В.М. Кутеповым, доц. Н.А. Филькиным, проф. В.И. Осиповым, проф. С.Н. Чернышевым, проф. И.В. Дудлером и др., позволившие улучшить структуру и содержание учебника.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Геология — комплекс наук о составе, строении, истории развития Земли, движениях земной коры и размещении в недрах Земли полезных ископаемых. Основным объектом изучения, исходя из практических задач человека, является земная кора.

Геология входит в число основных естественных наук и в самостоятельную ветвь естествознания выделилась в XVIII — начале XIX века. К числу основоположников научной геологии правомерно относят великого русского ученого М.В. Ломоносова, а из зарубежных — Д. Геттона, Ч. Ляйеля и др.

В течение XIX века в геологии формируются самостоятельные научные дисциплины, имеющие в качестве объектов изучения отдельные геологические феномены. В частности, в России в развитие минералогии и петрографии весьма значительный вклад внесли В.М. Севергин, А.Н. Заварицкий, А.Е. Ферсман. Создание исторической и динамической геологии тесно связано с именами В.А. Обручева, И.В. Мушкетова, А.П. Павлова, А.Д. Архангельского, Н.М. Страхова.

К концу XIX века наступило время формирования таких молодых отраслей геологии, как гидрогеология и инженерная геология. Основной причиной их возникновения стало активное освоение под строительство новых территорий, необходимость запасов воды для промышленных целей. Главную роль в становлении этих дисциплин сыграли научные труды Ф.П. Саваренского, М.М. Филатова, В.В. Охотина, а из зарубежных — К. Терцаги.

В настоящее время геология является типичной естественной наукой, обладающей комплексным характером и состоящей более чем из двадцати научных дисциплин, например таких, как стратиграфия, тектоника, минералогия, петрография, литология, сейсмология, палеонтология, геокриология, учение о полезных ископаемых, геофизика, инженерная геология и гидрогеология и др.

В учебнике основное внимание сосредоточено на тех геологических дисциплинах, которые в той или иной мере связаны с вопросами строительства. Это **минералогия** и **петрография** — науки о минералах и горных породах; **динамическая геология** — учение о процессах, происходящих на поверхности и в недрах Земли; **историческая геология**, которая изучает историю развития Земли; **гидрогеология** — наука о подземных водах; **геоморфология** — дисциплина, изучающая развитие рельефа поверхности земной коры.

В прошлом столетии особое развитие получила **инженерная геология** — наука, изучающая свойства горных пород (грунтов), природные геологические и техногенно-геологические (инженерно-геологические) процессы в верхних горизонтах земной коры в связи со строительной деятельностью человека.

Становление **инженерной геологии** как самостоятельной отрасли геологии проходило в несколько этапов: первый этап, относящийся к концу XIX и первой трети XX в., характеризуется, в первую очередь, накоплением опыта использования геологических данных для строительства различных объектов, но особую роль при этом сыграло массовое строительство железных дорог в промышленно развитых странах мира. В России, например, в то время прокладывали железнодорожные пути через Кавказский хребет, строилась Транссибирская магистраль. Протяженность полотна дорог, значительное количество мостов и переходов, станционных сооружений позволили строителям познакомиться с весьма различными геологическими условиями на обширных территориях. Геология впервые стала находить практическое применение в решении конкретных строительных задач.

На втором этапе, во второй трети XX в., инженерная геология утвердилась как самостоятельная наука и стала необходимой и во многом неотъемлемой частью строительного производства. Инженеры-геологи приобрели необходимый опыт и разработали методики оценки свойств горных пород (грунтов) не только качественно, но и, что особенно важно для проектирования объектов, количественно. Появились нормы и технические условия на строительство в различных, в том числе и весьма сложных геолого-климатических условиях и при развитии опасных природных процессов (вечная мерзлота, сейсмические районы, лессовые просадочные грунты, оползнеопасные районы и т. п.). Начали функционировать специализированные инженерно-геологические изыскательские организации, оснащенные необходимым оборудованием, приборами и высококвалифицированными кадрами. Появились первые научные монографии по инженерной геологии (Н.В. Бобков, 1931 г., Н.Н. Маслов, 1934 г. и др.). Чрезвычайную роль в становлении инженерной геологии как науки сыграл труд Ф.П. Саваренского «Инженерная геология», в котором были обоснованы главные закономерности, определены методы и задачи инженерной геологии. В последующие десятилетия на развитие инженерной геологии важнейшее влияние оказали российские ученые — И.В. Попов, В.А. Приклонский, Н.Я. Денисов, Н.В. Коломенский, Е.М. Сергеев, В.Д. Ломтадзе, Л.Д. Белый и др.

Последняя треть XX в. является важнейшим этапом в развитии инженерной геологии, которая превратилась в самостоятельный весьма обширный раздел комплекса наук о Земле, способный ре-

шать сложнейшие задачи, обеспечивая строительство объектов в различных, в том числе самых трудных и неблагоприятных геологических условиях. В современных условиях инженерная геология изучает геологическую среду для целей строительства и для обеспечения ее рационального использования и охраны от неблагоприятных для человека процессов и явлений. Значительную роль в развитии инженерной геологии на данном этапе играют работы В.И. Осипова, В.П. Ананьева, В.Т. Трофимова, Г.К. Бондарика, И.С. Комарова, Г.С. Золотарева и других современных ученых. Развитие строительной деятельности и связанная с ним эволюция инженерной геологии приводит в настоящее время к сближению ее с комплексом экологических наук. Современная инженерная геология базируется на знаниях в области как естественных наук, таких, как физика, химия, высшая математика, биология, экология, география, астрономия, так и прикладных — гидравлика, геодезия, климатология, информатика и др.

Инженерная геология в классическом представлении включает три главные самостоятельные, тесно связанные между собой научные направления, изучающие три главных элемента геологической среды:

- грунтоведение — горные породы (грунты) и почвы;
- инженерная геодинамика — природные и антропогенные геологические процессы и явления;
- региональная инженерная геология — строение и свойства геологической среды определенной территории.

Кроме того, в состав современной инженерной геологии входят многие специальные разделы, имеющие уровень самостоятельных наук: механика грунтов; механика скальных пород; инженерная гидрогеология; инженерная геофизика; геокриология (мерзлотоведение). Интенсивно развивается морская инженерная геология, а также комплексная дисциплина по охране природной среды, основой которой является геоэкология как наука об условиях и процессах в главнейших жизнеобеспечивающих геосферах: атмосфере, гидросфере, литосфере и их взаимодействиях с биосферой, включая антропогенное влияние. Иными словами, инженерная геология все более сближается в решениях проблем с экологией.

Главная цель инженерной геологии — изучение природной геологической обстановки местности до начала строительства, а также прогноз тех изменений, которые произойдут в геологической среде, и в первую очередь в породах, в процессе строительства и при эксплуатации сооружений. В современных условиях ни одно здание или сооружение не может быть спроектировано, построено и надежно эксплуатироваться (а в последствии может быть ликвидировано или реконструировано) без достоверных и полных инженерно-геологических материалов.

Все это определяет основные задачи, которые стоят перед инженерами-геологами в процессе изыскательских работ еще до начала проектирования объекта (при принятии решения о строительстве, об инвестировании проекта и т. п.), а именно:

- выбор оптимального (благоприятного) в геологическом отношении места (площадки, района) строительства данного объекта;
- выявление инженерно-геологических условий в целях определения наиболее рациональных конструкций фундаментов и объекта в целом, а также технологии производства строительных работ;
- выработка рекомендаций по необходимым мероприятиям и сооружениям инженерной защиты территорий и охране геологической среды при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Перед студентами строительных вузов, которые изучают инженерную геологию, стоят также вполне конкретные задачи. По завершении обучения они должны знать важнейшие законы и базовые понятия по общей геологии, гидрогеологии, грунтоведению, инженерной геодинамике, региональной инженерной геологии, владеть основными положениями нормативной литературы, такой, как СНиП 11.02—96 «Инженерные изыскания для строительства», СНиП 2.01.15—90 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов», ГОСТ 25100—95 «Грунты» и др.; иметь представления о составе и порядке подготовки технического задания на инженерно-геологические изыскания, о составе программы инженерно-геологических изысканий, уметь квалифицированно анализировать материалы отчета по инженерно-геологическим изысканиям, принимать по этим данным правильные инженерно-строительные решения, оценивать долговременное влияние построенных объектов на природную среду, а также то, как эта среда воздействует на нормальную эксплуатацию зданий и сооружений.

Сложный узел проблем, возникающих при взаимодействии современных строительных объектов с окружающей, в том числе и с геологической, средой определяет необходимость для инженера-строителя обладать знаниями в инженерной геологии, а для инженера-геолога — в области строительства. В настоящее время только такое «взаимопроникновение» позволяет грамотно и экологично решать все задачи при строительстве, эксплуатации, реконструкции и ликвидации строительных объектов, т. е. на протяжении всего «жизненного цикла» строительного проекта, в том числе и на основе вновь развивающейся геоэкологической науки, которая охватывает взаимодействие всех главнейших геосферных жизнеобеспечивающих оболочек и их влияние на среду обитания человека, а также обратную реакцию строительства на эти геосферы, в том числе и на биосферу.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИИ

Основным объектом изучения геологии является земная кора, внешняя твердая оболочка Земли, имеющая важнейшее значение для осуществления жизни и деятельности человека. При исследованиях состава, строения и истории развития Земли и земной коры, в частности, геологи используют: наблюдения; опыт или эксперимент, включающий различные как собственные, так и применяемые в других естественных науках методы исследований, например, физико-химические, биологические и др.; моделирование; метод аналогий; теоретический анализ; логические построения (гипотезы) и т. д.

В данном разделе рассматривается вопрос происхождения Земли, ее форма и строение, состав, история развития земной коры (геохронология); тектонические движения земной коры, формы поверхности (рельеф).

Глава 1

ПРОИСХОЖДЕНИЕ, ФОРМА И СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЗЕМЛИ

Солнечная система состоит из небесных тел. В нее входят: Солнце, девять больших планет, в том числе Земля, и десятки тысяч малых планет, комет и множество метеорных тел. Солнечная система — сложный и многообразный мир, далеко еще не изученный.

Вопрос о происхождении Земли — важнейший вопрос естествознания. Более 100 лет пользовалась признанием гипотеза Канта — Лапласа, согласно которой Солнечная система образовалась из огромной раскаленной газоподобной туманности, вращавшей-

ся вокруг оси, а Земля вначале была в жидком состоянии, а потом стала твердым телом.

Дальнейшее развитие науки показало несостоятельность этой гипотезы. В 40-х годах XX в. акад. О.Ю. Шмидт выдвинул новую гипотезу происхождения планет Солнечной системы, в том числе и Земли, согласно которой Солнце на своем пути пересекло и захватило одно из пылевых скоплений Галактики, поэтому планеты образовались не из раскаленных газов, а из пылевидных частиц, вращающихся вокруг Солнца. В этом скоплении со временем возникли уплотненные сгустки материи, давшие начало планетам.

Земля, по О.Ю. Шмидту, первоначально была холодной. Разогрев ее недр начался, когда она достигла больших размеров. Это произошло за счет выделения теплоты в результате распада имеющихся в ней радиоактивных веществ. Недра Земли приобрели пластическое состояние, более плотные вещества сосредоточились ближе к центру планеты, более легкие у ее периферии. Произошло расслоение Земли на отдельные оболочки. По гипотезе О.Ю. Шмидта, расслоение продолжается до настоящего времени. По мнению ряда ученых, именно это является основной причиной движений в земной коре, т. е. причиной тектонических процессов.

Заслуживает внимания гипотеза В.Г. Фесенкова, который считает, что в недрах звезд, в том числе и Солнца, протекают ядерные процессы. В один из периодов это привело к быстрому сжатию и увеличению скорости вращения Солнца. При этом образовался длинный выступ, который потом оторвался и распался на отдельные планеты. Обзор гипотез о происхождении Земли и наиболее вероятная схема ее происхождения детально рассмотрена в книге И.И. Потапова «Геология и экология сегодня» (1999).

КРАТКИЙ ОЧЕРК ГЛОБАЛЬНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ЗЕМЛИ

Происхождение планет Солнечной системы и их эволюция активно изучались в XX в. в фундаментальных работах О.Ю. Шмидта, В.С. Сафронова, Х. Альвена и Г. Аррениуса, А.В. Витязева, А. Гингвуда, В.Е. Хаина, О.Г. Сорохтина, С.А. Уманова, Л.М. Наймарка, В. Эльзассера, Н.А. Божко, А. Смиты, Дж. Юрайдена и др. Согласно современным космологическим представлениям, заложенным О.Ю. Шмидтом, Земля и Луна, равно как и другие планеты Солнечной системы, образовались за счет аккреции (слипания и дальнейшего роста) твердых частиц газопылевого протопланетного облака. На первом этапе рост Земли шел в ускоряющемся режиме аккреции, но по мере исчерпания запасов твердого вещества в околоземном поясе планетезималей протопланетного облака этот рост постепенно замедлился. Процесс аккреции Земли сопровождался выделением колоссального количества гравитационной энергии, примерно $23,3 \cdot 10^{38}$ эрг. Такое количество энергии способно было не только расплавить вещество, но даже растворить его, но большая часть этой энергии выделялась в приповерхностной части Протоземли и терялась в виде теплового излучения. На то чтобы Земля сформировалась на 99 % ее современной массы, потребовалось 100 млн лет.

На первом этапе молодая Земля сразу же после образования была относительно холодным телом, и температура ее недр не превышала температуры плавления земного вещества, в силу того что при формировании планеты происходил не только нагрев за счет падающих планетезималей, но и остывание за счет теплотерьер в окружающее пространство, кроме того, Земля имела однородный состав. Дальнейшая эволюция Земли обусловлена ее составом, теплозапасом и историей взаимодействия с Луной. Влияние состава сказывается прежде всего через энергию распада радиоактивных элементов и гравитационную дифференциацию земного вещества.

До формирования планетной системы звезда Солнце представляла собой практически классический красный гигант. Звезды этого типа в результате внутренних ядерных реакций водородного горения формируют более тяжелые химические элементы с выделением огромного количества энергии и возникновением сильного светового давления с поверхности на газообразную атмосферу. В результате комбинационного воздействия этого давления и огромного притяжения атмосфера звезды испытывала попеременное сжатие и расширение. Этот процесс в условиях динамического увеличения массы газовой оболочки продолжался до тех пор, пока в результате резонанса внешняя газовая оболочка, оторвавшись от Солнца, не превратилась в планетарную туманность.

Под воздействием силового магнитного поля звезды ионизированное вещество планетарной туманности подверглось электромагнитной сепарации составляющих его химических элементов. Постепенная потеря тепловой энергии и электрических зарядов газов привело их к слипанию. При этом под воздействием магнитного поля звезды обеспечивалась эффективная передача момента вращения к образовавшимся в результате аккреции планетезималам, которые послужили началом формирования всех планет Солнечной системы. При потере заряда ионизированными химическими элементами последние превращались в молекулы, реагировавшие друг с другом, образуя простейшие химические соединения: гидриды, карбиды, оксиды, цианиды, сульфиды и хлориды железа и др.

Процесс постепенного уплотнения, разогревания и дальнейшей дифференциации вещества в образовавшихся планетах происходил с захватом частиц из окружающего пространства. В центре формирующейся протопланеты концентрировались металлы за счет гравитационного разделения вещества. Вокруг этой зоны собирались карбиды железа и никеля, сернистое железо и оксиды железа. Таким образом образовалось внешнее жидкое ядро, которое в своей оболочке содержало гидриды и оксиды кремния и алюминия, воду, метан, водород, оксиды магния, калия, натрия, кальция и другие соединения. При этом происходила зонная плавка образовавшейся оболочки и сокращение поверхности и уменьшение объема планеты. Следующими этапами было формирование мантии, протокры и выплавление астеносферы. Протокры дробилась за счет упомянутого выше сокращения объема и поверхности. За счет этого на поверхность изливались базальты, которые после остывания вновь погружались в глубинную часть мантии и подвергались следующей переплавке; затем часть базальтовой коры постепенно трансформировалась в гранитную.

Поверхностные слои Земли на этапе формирования состояли из мелкопористого реголита, который активно связывал выделявшиеся воду и углекислый газ за счет своего ультраосновного состава. Общий теплозапас Земли и распределение температуры в ее недрах определялись скоростью роста планеты. В целом, в отличие от Луны, Земля никогда не плавилась полностью, а процесс формирования земного ядра растянулся приблизительно на 4 млрд лет.

Примерно 600 млн лет продолжалось состояние холодной и тектонически пассивной Земли. В это время медленно разогревались недра планеты и примерно 4 млрд лет назад на Земле проявилась активная гранитизация и сформировалась астеносфера. При этом Луна как самый массивный спутник «вычищала» из околоземного пространства все имевшиеся там меньшие спутники и микролуны,

а на самой Луне произошла вспышка базальтового магматизма, что совпало с началом тектонической активности на Земле (период продолжался от 4,0 до 3,6 млрд лет назад). В этот же момент в недрах Земли возбуждается процесс гравитационной дифференциации земного вещества — главного процесса, поддерживавшего тектоническую активность Земли во все последующие геологические эпохи и приведшего к выделению и росту плотного окисдно-железного земного ядра.

Так как в крипто тектоническую эпоху (катархее) земное вещество никогда не плавилось, то не могли развиваться процессы дегазации Земли, поэтому первые 600 млн лет существования Земли на ее поверхности полностью отсутствовала гидросфера, а атмосфера была исключительно разреженной и состояла из благородных газов. В это время рельеф Земли был сглаженным, состоявшим из темно-серого реголита. Все освещалось желтым слабогреющим Солнцем (светимость была на 30 % меньше современной) и непомерно большим без пятен диском Луны (она приблизительно в 300—350 раз превышала современную видимую площадь диска Луны). Луна была еще горячей планетой и могла обогревать Землю. Стремительным было движение Солнца — всего за 3 ч оно пересекало небосвод, чтобы через 3 ч вновь взойти с востока. Гораздо медленнее двигалась Луна, так как она быстро вращалась вокруг Земли в ту же сторону, так что и фазы Луны проходили все стадии за 8—10 ч. Луна обращалась вокруг Земли по орбите с радиусом 14—25 тыс. км (сейчас радиус 384,4 тыс. км). Интенсивные приливные деформации Земли вызывали вслед движению Луны непрерывную (через каждые 18—20 ч) череду землетрясений. Амплитуда лунных приливов составляла 1,5 км.

Постепенно, примерно через миллион лет после образования, за счет осушавшегося оттапливания лунные приливы снизились до 130 м, еще через 10 млн лет до 25 м, а через 100 млн лет — до 15 м, к концу катархее — до 7 м, а сейчас в полуденной точке современные приливы твердой Земли составляют 45 см. Приливные землетрясения в то время были исключительно экзогенного характера, так как никакой тектонической деятельности еще не было. В архее, в самом начале, дифференциация земного вещества происходила путем выплавления из него металлического железа на уровне верхней мантии. В связи с исключительно высокой вязкостью холодной сердцевины молодой Земли возникшая гравитационная неустойчивость могла быть компенсирована путем выжимания этой сердцевины к земной поверхности и затекания на ее место выделившихся ранее тяжелых расплавов, т. е. путем формирования у Земли плотного ядра. Этот процесс завершился к концу архее около 2,7—2,6 млрд лет назад; в это время все обособленные до этого континентальные массивы стремительно начали двигаться к одному из полюсов и объединились в первый на планете суперконтинент Моногея. Ландшафты Земли изменились, контрастность рельефа не превышала 1—2 км, все понижения рельефа постепенно заполнялись водой и в позднем архее образовался мелководный (до 1 км) единый Мировой океан.

В начале архее Луна удалилась от Земли на 160 тыс. км. Земля вращалась вокруг своей оси с большой скоростью (в году было 890 суток, а сутки продолжались 9,9 ч). Лунные приливы амплитудой до 360 см деформировали поверхность Земли через каждые 5,2 ч; к концу архее вращение Земли существенно замедлилось (в году стало 490 суток по 19 ч), а Луна перестала влиять на тектоническую активность Земли. Атмосфера в архее пополнилась азотом, углекислым газом и парами воды, но кислород отсутствовал, так как он мгновенно связывался свободным (металлическим) железом мантийного вещества, постоянно поднимавшегося через рифтовые зоны к поверхности Земли.

В протерозое за счет перераспределения конвективных движений под суперконтинентом Моногея восходящий поток привел к его распаду (примерно 2,4—3,3 млрд лет назад). Последовавшие затем формирования и дробления суперконтинентов Мегатеги, Мезогеи и Пангеи проходили с образованием сложнейших тектонических структур и продолжались вплоть до кембрия и ордовика (уже в палеозое). К этому времени масса воды на поверхности Земли стала настолько

большой, что уже проявилось в формировании более глубоководного Мирового океана. Океанская кора подверглась гидратации и этот процесс сопровождался усилением поглощения углекислого газа с образованием карбонатов. Атмосфера продолжала оставаться обедненной кислородом за счет продолжавшегося связывания его выделявшимся железом. Этот процесс завершился только к началу фанерозоя, и с этого времени земная атмосфера стала активно насыщаться кислородом, постепенно приближаясь к ее современному составу.

В этой новой ситуации произошла резкая активизация жизненных форм, обмен веществ которых был построен на реакциях обратного окисления органических веществ, синтезируемых растениями. Так появились организмы царства животных, но это уже к концу кембрийского периода, в фанерозое, и это привело к возникновению всех типов скелетных и бесскелетных животных, сказавшихся на многих геологических процессах в поверхностной зоне Земли в последующие геологические эпохи. Геологическая эволюция фанерозоя изучена гораздо подробнее, чем другие эпохи, и можно коротко описать ее следующим образом. В это наиболее близкое нам время, как было выявлено, происходили трансгрессии и регрессии океана, глобальные изменения климата, в частности, чередование ледниковых и практически безледниковых периодов, кстати, первым, как предполагается, на Земле было Гуронское оледенение в протерозое.

Процессы трансгрессий и регрессий океана при мощном развитии жизненных форм, активная эродирующая деятельность ледников и эрозионная деятельность ледниковых вод привели к значительной переработке пород, слагавших поверхностную зону земной коры, накоплению терригенного материала на океанском дне, седиментационным процессам накопления органогенного и хемогенного материала в водных бассейнах.

Пространственное расположение материков и океанов постепенно менялось и было весьма различным относительно экватора: попеременно, то северное, то южное полушарие было континентальным или океаническим. Климат также неоднократно менялся, находясь в тесной связи с эпохами оледенений и межледниковий. Активно от палеозоя до кайнозоя (и в нем) происходили изменения глубин, температуры и состава вод Мирового океана; развитие жизненных форм привело к выходу их из водной среды и постепенному освоению суши, а также эволюции жизненных форм вплоть до известных. На основании анализа геологической истории фанерозоя следует вывод, что все главные рубежи (разделение геохронологической шкалы на эры, периоды и эпохи) в значительной степени обусловлены столкновениями и расколами материков в процессе глобального перемещения «ансамбля» литосферных плит.

ФОРМА ЗЕМЛИ

Форма Земли обычно именуется земным шаром. Установлено, что масса Земли равна $5976 \cdot 10^{21}$ кг, объем $1,083 \cdot 10^{12}$ км³. Средний радиус 6371,2 км, средняя плотность 5,518 кг/м³, среднее ускорение силы тяжести 9,81 м/с². Форма Земли близка к трехосному эллипсоиду вращения с полярным сжатием: у современной Земли полярный радиус 6356,78 км, а экваториальный 6378,16 км. Длина земного меридиана составляет 40008,548 км, длина экватора 40075,704 км. Полярное сжатие (или «сплюснутость») обусловлена вращением Земли вокруг полярной оси и величина этого сжатия связана со скоростью вращения Земли. Иногда форму Земли именуют сфероидом, но для Земли есть и

собственное наименование формы, а именно геоид. Дело в том, что земная поверхность изменчива и значительна по высоте; есть высочайшие горные системы более чем в 8000 м (например, гора Эверест — 8842 м) и глубокие океанические впадины более чем в 11 000 м (Марианская впадина — 11 022 м). Геоид вне континентов совпадает с невозмущенной поверхностью Мирового океана, на континентах поверхность геоида рассчитана по гравиметрическим исследованиям и с помощью наблюдений из космоса.

Земля обладает сложноорганизованным магнитным полем, которое можно описать как поле, создаваемое намагниченным шаром или магнитным диполем.

Поверхность земного шара на 70,8% (361,1 млн км²) занята поверхностными водами (океанами, морями, озерами, водохранилищами, реками и т. д.). Суша составляет 29,2 % (148,9 млн км²).

СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

В общем виде, как установлено современными геофизическими исследованиями на основании, в частности, оценок скоростей распространения сейсмических волн, изучения плотности земного вещества, массы Земли, результатов космических экспериментов по определению распределения воздушного и водного пространств и другими данными, Земля сложена как бы несколькими концентрическими оболочками: *внешними* — атмосфера (газовая оболочка), гидросфера (водная оболочка), биосфера (область распространения живого вещества, по В.И. Вернадскому) и *внутренними*, которые называют собственно геосферами (ядро, мантия и литосфера) (рис. 1).

Непосредственному наблюдению доступны атмосфера, гидросфера, биосфера и самая верхняя часть земной коры. С помощью буровых скважин человеку удастся изучать глубины в основном до 8 км. Проходка сверхглубоких скважин осуществляется в научных целях в нашей стране, США и Канаде (в России на Кольской сверхглубокой скважине достигнута глубина более 12 км, что позволило отобрать образцы горных пород для непосредственного прямого изучения). Основной целью сверхглубокого бурения является достижение глубинных слоев земной коры — границ «гранитного» и «базальтового» слоев или верхних границ мантии. Строение более глубоких недр Земли изучается геофизическими методами, из которых наибольшее значение имеют сейсмические и гравиметрические. Изучение вещества, поднятого с границ мантии, должно внести ясность в проблему строения Земли. Особый интерес представляет мантия, так как

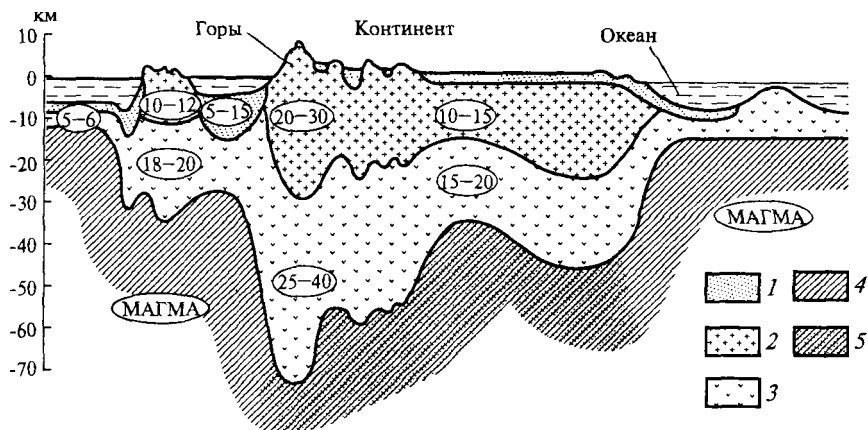
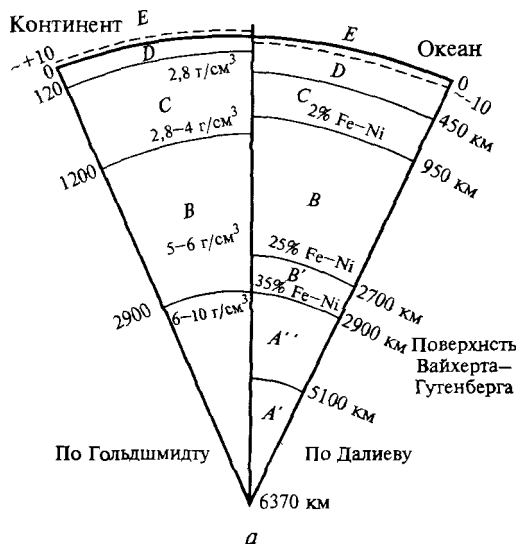


Рис. 1. Схематическое изображение строения Земли (а) и земной коры (б): А — ядро; В, С — мантия; D — земная кора; E — атмосфера (по М. Васичу); 1 — покровные отложения; 2 — гранитоподобный слой; 3 — базальтовый слой; 4 — верхняя мантия; 5 — мантия

земная кора со всеми полезными ископаемыми образовалась в конечном счете из ее вещества.

Атмосфера по распределенной в ней температуре снизу вверх подразделяется на тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу. *Тропосфера* составляет около 80 % всей массы атмосферы и достигает высоты 16—18 км в экваториальной части и

8—10 км в полярных областях. Стратосфера простирается до высоты 55 км и имеет у верхней границы слой озона. Далее идут до высоты 80 км мезосфера, до 800—1000 км термосфера и выше располагается экзосфера (сфера рассеивания), составляющая не более 0,5 % массы земной атмосферы. В состав атмосферы входят азот (78,1 %), кислород (21,3 %), аргон (1,28 %), углекислота (0,04 %) и другие газы и почти весь водяной пар. Содержание озона (O_3) равно $3,1 \cdot 10^{15}$ г, а кислорода (O_2) $1,192 \cdot 10^{21}$ г. С удалением от поверхности Земли температура атмосферы резко понижается и на высоте 10—12 км она уже составляет около $-50^\circ C$. В тропосфере происходит образование облаков и сосредоточиваются тепловые движения воздуха. У поверхности Земли наиболее высокая температура была отмечена в Ливии ($+58^\circ C$ в тени), на территории бывшего СССР в районе г. Термез ($+50^\circ C$ в тени).

Наиболее низкая температура зафиксирована в Антарктиде ($-87^\circ C$), а на территории России — в Якутии ($-71^\circ C$).

Стратосфера — следующий над тропосферой слой. Присутствие озона в данном атмосферном слое обуславливает повышение температуры в нем до $+50^\circ C$, но на высоте 8—90 км температура снова понижается до $-60...-90^\circ C$.

Среднее давление воздуха на уровне моря равно 1,0132 бар (760 мм рт. ст.), а плотность $1,3 \cdot 10^3$ г/см. В атмосфере и ее облачном покрове поглощается 18 % излучения Солнца. В результате радиационного баланса системы «Земля—атмосфера» средняя температура на поверхности Земли положительная ($+15^\circ C$), хотя ее колебания в разных климатических зонах могут достигать $150^\circ C$.

Гидросфера — водная оболочка, которая играет большую роль в геологических процессах Земли. В ее состав входят все воды Земли (океаны, моря, реки, озера, материковые льды и т. д.). Гидросфера не образует сплошного слоя и покрывает земную поверхность на 70,8 %. Средняя мощность ее около 3,8 км, наибольшая — свыше 11 км (11 022 м — Марианская впадина в Тихом океане).

Гидросфера Земли значительно моложе самой планеты. На первых этапах своего существования поверхность Земли была полностью безводной, да и в атмосфере водяного пара практически не было. Образование гидросферы обусловлено процессами отделения воды из вещества мантии. Гидросфера в настоящее время составляет неразрывное единство с литосферой, атмосферой и биосферой. Именно для последней — биосферы — весьма важное значение имеют уникальные свойства воды как химического соединения, например, изменения в объеме при переходе воды из одного фазового состояния в другое (при замерзании,

при испарении); высокая растворяющая способность по отношению почти ко всем соединениям на Земле.

Именно наличие воды по своей сути обеспечивает существование жизни на Земле в известной нам форме. Из воды, как простого соединения, и углекислоты растения способны под воздействием солнечной энергии и в присутствии хлорофилла образовывать сложные органические соединения, что собственно и является процессом фотосинтеза. Вода на Земле распределена неравномерно, большая ее часть сосредоточена на поверхности. По отношению же к объему земного шара общий объем гидросферы не превышает 0,13 %. Основную часть гидросферы составляет Мировой океан (94 %), площадь которого 361059 км², а общий объем—1370 млн км³. В континентальной земной коре $4,42 \cdot 10^{23}$ г воды, в океанической — $3,61 \cdot 10^{23}$ г. В табл. 1 приведено распределение воды на Земле.

Таблица 1

Объем гидросферы и интенсивность водообмена

Составляющие гидросферы	Объем всей воды, тыс. км ³ (%)	Объем пресных вод, тыс. км ³	Интенсивность водообмена, годы
Мировой океан	1 370 000 (94)	—	3000
Подземные воды ^{*)}	60 000 (4,12)	4000	5000
Ледники	24 000 (1,65)	24 000	8600
Озера	280	155	10
Почвенная влага	85	83	1
Пары атмосферы	14	14	0,027
Речные воды	1,2	1,2	0,032
Вода в живых организмах	1,12	1,12	—

^{*)}Активному водообмену и использованию могут быть подвергнуты всего лишь 4000 тыс. км³ подземных вод, расположенных на небольших глубинах.

Температура воды в океане меняется не только в зависимости от широты местности (близость к полюсам или экватору), но и от глубины океана. Наибольшей изменчивостью температур отличается поверхностный слой до глубины 150 м. Самая высокая температура воды в верхнем слое отмечена в Персидском заливе (+35,6 °С), а наиболее низкая — в Северном Ледовитом океане (–2,8 °С).

Химический состав гидросферы весьма разнообразен: от весьма пресных до очень соленых вод, типа рассолов.

Более 98 % всех водных ресурсов Земли составляют соленые воды океанов, морей и некоторых озер, а также минерализован-

ные подземные воды. Общий объем пресной воды на Земле равен 28,25 млн км³, что составляет всего лишь около 2 % общего объема гидросферы, при этом наибольшая часть пресных вод сосредоточена в материковых льдах Антарктиды, Гренландии, полярных островов и высокогорных областей. Это вода в настоящее время малодоступна для практического использования человеком.

В Мировом океане содержится $1,4 \cdot 10^{12}$ диоксида углерода (CO₂), что почти в 60 раз больше, чем в атмосфере; кислорода в океане растворено $8 \cdot 10^{18}$ г или почти в 150 раз меньше, чем в атмосфере. Ежегодно реки сносят в океаны около $2,53 \cdot 10^{16}$ г терригенного материала с суши, из них почти $2,25 \cdot 10^{16}$ г приходится на взвесь, остальное — растворимые и органические вещества.

Соленость (средняя) морской воды равна 3,5 % (35 г/л). В морской воде кроме хлоридов, сульфатов и карбонатов содержатся также йод, фтор, фосфор, рубидий, цезий, золото и другие элементы. В воде растворено $0,48 \cdot 10^{23}$ г солей.

Глубоководные исследования, проведенные в последние годы, позволили установить наличие горизонтальных и вертикальных течений, существование форм жизни во всей толще воды. Органический мир моря разделяется на бентос, планктон, нектон и др. К *бентосу* относятся организмы, обитающие на грунте и в грунте морских и континентальных водоемов. *Планктон* — совокупность организмов, населяющих толщу воды, не способных противостоять переносу течением. *Нектон* — активно плавающие, например рыбы, и другие морские животные.

В настоящее время серьезным становится вопрос о дефиците пресной воды, что является одной из составляющих развивающегося глобального экологического кризиса. Дело в том, что пресная вода необходима не только для утилитарных нужд человека (питья, приготовления пищи, умывания и т. п.), но и для большинства промышленных процессов, не говоря уже о том, что только пресная вода пригодна для сельскохозяйственного производства — агротехники и животноводства, так как подавляющее большинство растений и животных сосредоточено на суше и для осуществления своей жизнедеятельности они используют исключительно пресную воду. Рост населения Земли (уже сейчас на планете более 6 млрд человек) и связанное с этим активное развитие промышленности и сельскохозяйственного производства привели к тому, что ежегодно человеком потребляется 3,5 тыс. км³ пресной воды, причем безвозвратные потери составляют 150 км³. Та часть гидросферы, которая пригодна для водоснабжения, составляет 4,2 км³, это всего лишь 0,3 % объема гидросферы. В России достаточно большие запасы пресной воды (около 150 тыс. рек, 200 тыс. озер, множество водохранилищ и прудов,

значительные объемы подземных вод), однако распределение этих запасов по территории страны далеко неравномерно.

Гидросфера играет важную роль в проявлении многих геологических процессов, особенно в поверхностной зоне земной коры. С одной стороны, под воздействием гидросферы происходит интенсивное разрушение горных пород и их перемещение, перетолжение, с другой — гидросфера выступает как мощный созидательный фактор, являясь по существу бассейном для накопления в ее пределах значительных толщ осадков разного состава.

Биосфера находится в постоянном взаимодействии с литосферой, гидросферой и атмосферой, что существенно сказывается на составе и строении литосферы.

В целом под биосферой в настоящее время понимают область распространения живого вещества (живые организмы известных науке форм); это сложноорганизованная оболочка, связанная биохимическими (и геохимическими) циклами миграции вещества, энергии и информации. Академик В. И. Вернадский в понятие биосферы включает все структуры Земли, генетически связанные с живым веществом; прошлой или современной деятельностью живых организмов. Большая часть геологической истории Земли связана с деятельностью живых организмов, особенно в поверхностной части земной коры, например, это весьма мощные осадочные толщи органогенных горных пород — известняков, диатомитов и др. Область распространения биосферы ограничивается в атмосфере озоновым слоем (примерно 18—50 км над поверхностью планеты), выше которого известные на Земле формы жизни невозможны без специальных средств защиты, как это осуществляется при космических полетах за пределы атмосферы и на другие планеты. В недра Земли до последнего времени биосфера распространялась до глубины Марианской впадины в 11 022 м, однако при бурении Кольской сверхглубокой скважины достигнута глубина более 12 км, а это означает, что на данную глубину осуществлено проникновение живого вещества.

Внутреннее строение Земли, по современным представлениям, состоит из ядра, мантии и литосферы. Границы между ними достаточно условны, вследствие взаимопроникновения как по площади, так и по глубине (см. рис. 1).

Земное ядро состоит из внешнего (жидкого) и внутреннего (твердого) ядра. Радиус внутреннего ядра (так называемый слой G) примерно равен 1200—1250 км, переходный слой (F) между внутренним и внешним ядром имеет мощность около 300—400 км, а радиус внешнего ядра равен 3450—3500 км (соответственно глубина 2870—2920 км). Плотность вещества во внешнем ядре с глубиной возрастает с 9,5 до 12,3 г/см³. В центральной части

внутреннего ядра плотность вещества достигает почти 14 г/см^3 . Все это показывает, что масса земного ядра составляет до 32 % всей массы Земли, в то время как объем примерно 16 % объема Земли. Современные специалисты считают, что земное ядро почти на 90 % представляет собой железо с примесью кислорода, серы, углерода и водорода, причем внутреннее ядро имеет, по современным представлениям, железо-никелевый состав, что полностью отвечает составу ряда исследованных метеоритов.

Мантия Земли представляет собой силикатную оболочку между ядром и подошвой литосферы. Масса мантии составляет 67,8 % общей массы Земли (О.Г. Сорохтин, 1994). Геофизическими исследованиями установлено, что мантия, в свою очередь, может быть подразделена (см. рис. 1) на *верхнюю мантию* (слой *D* до глубины 400 км), *переходный слой Голицына* (слой *C* на глубине от 400 до 1000 км) и *нижнюю мантию* (слой *B* с подошвой на глубине примерно 2900 км). Под океанами в верхней мантии выделяется слой, в котором мантийное вещество находится в частично расплавленном состоянии. Весьма важным элементом в строении мантии является зона, подстилающая подошву литосферы. Физически она представляет собой поверхность перехода сверху вниз от охлажденных жестких пород к частично расплавленному мантийному веществу, находящемуся в пластическом состоянии и составляющему астеносферу.

По современным представлениям, мантия имеет ультраосновной состав (пиролита, как смеси 75 % перидотита и 25 % толеритового базальта или лерцолита), в связи с чем ее часто называют перидотитовой, или «каменной», оболочкой. Содержание радиоактивных элементов в мантии весьма низко. Так, в среднем $10^{-8} \%$ U; $10^{-7} \%$ Th, $10^{-6} \%$ ^{40}K . Мантия в настоящее время оценивается как источник сейсмических и вулканических явлений, горообразовательных процессов, а также зона реализации магматизма.

Земная кора представляет собой верхний слой Земли, который имеет нижнюю границу, или подошву, по сейсмическим данным, по слою Мохоровичича, где отмечено скачкообразное увеличение скоростей распространения упругих (сейсмических) волн до 8,2 км/с.

Для инженера-геолога земная кора является основным объектом *исследований*, именно на ее поверхности и в ее недрах возводятся инженерные сооружения, т. е. осуществляется строительная деятельность. В частности, для решения многих практических задач важным является выяснение процессов формирования поверхности земной коры, истории этого формирования.

В целом поверхность земной коры формируется под воздействием направленных противоположно друг другу процессов:

- эндогенных, включающих в себя тектонические и магматические процессы, которые ведут к вертикальным перемещениям в земной коре — поднятиям и опусканиям, т. е. создают «неровности» рельефа;

- экзогенных, вызывающих денудацию (выполаживание, выравнивание) рельефа за счет выветривания, эрозии различных видов и гравитационных сил;

- седиментационных (осадконакопление), как «выполняющих» осадками все созданные при эндогенезе неровности.

В настоящее время выделяются два типа земной коры: «базальтовая» океаническая и «гранитная» континентальная.

Океаническая кора достаточно проста по составу и представляет собой некое трехслойное формирование. Верхний слой, мощность которого колеблется от 0,5 км в срединной части океана до 15 км у глубоководных дельт рек и материковых склонов, где накапливается практически весь терригенный материал, в то время как в других зонах океана осадочный материал представлен карбонатными осадками и бескарбонатными красными глубоководными глинами. Второй слой сложен подушечными лавами базальтов океанического типа, подстилаемый долеритовыми дайками того же состава; общая мощность этого слоя составляет 1,5—2 км. Третий слой в верхней части разреза представлен сломом габбро, который вблизи от срединных океанических хребтов подстилается серпентинитами; общая мощность третьего слоя лежит в пределах от 4,7 до 5 км.

Средняя плотность океанической коры (без осадков) равна $2,9 \text{ г/см}^3$, ее масса — $6,4 \cdot 10^{24} \text{ г}$, объем осадков — 323 млн км^3 . Океаническая кора образуется в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов за счет происходящего под ними выделения базальтовых расплавов из астеносферного слоя Земли и излияния толеритовых базальтов на океанское дно. Установлено, что ежегодно из астеносферы поступает 12 км^3 базальтов. Все эти грандиозные тектоно-магматические процессы сопровождаются повышенной сейсмичностью и не имеют себе равных на континентах.

Континентальная кора резко отличается от океанической по мощности, строению и составу. Ее мощность меняется от 20—25 км под островными дугами и участками с переходным типом коры до 80 км под молодыми складчатыми поясами Земли, например под Андами или Альпийско-Гималайским поясом. Мощность континентальной коры под древними платформами составляет в среднем 40 км. Континентальная кора сложена тремя слоями, верхний из которых осадочный, а два нижних представлены кристаллическими породами. Осадочный слой сложен глинистыми осадками и карбонатами мелководных морских бас-

сейнов и имеет весьма различную мощность от 0 на древних щитах до 15 км в краевых прогибах платформ. Под осадочным слоем залегают докембрийские «гранитные» породы, зачастую преобразованные процессами регионального метаморфизма. Далее залегает базальтовый слой. Отличием океанической коры от континентальной является наличие в последней гранитного слоя. Далее океаническая и континентальная кора подстилаются породами верхней мантии.

Земная кора имеет алюмосиликатный состав, представленный, главным образом, легкоплавкими соединениями. Из химических элементов преобладающими являются кислород (43,13 %), кремний (26 %) и алюминий (7,45 %) в форме силикатов и оксидов (табл. 2).

Таблица 2

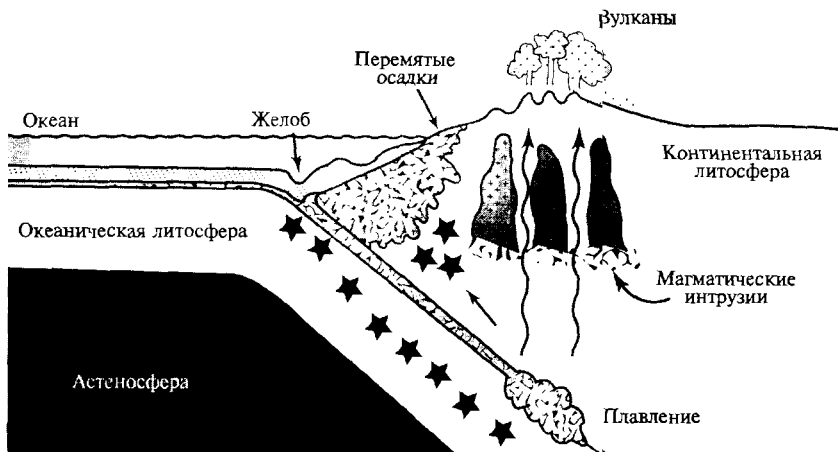
Средний химический состав земной коры

Соединение	Содержание, %	
	Океаническая кора	Континентальная кора
SiO ₂	61,9	49,4
TiO ₂	0,8	1,4
Al ₂ O ₃	15,6	16,0
Fe ₂ O ₃	2,6	2,3
FeO	3,9	7,6
MnO	0,1	0,2
MgO	3,1	8,0
CaO	5,7	11,4
Na ₂ O	3,1	2,7
K ₂ O	2,9	0,2

Химический состав земной коры, %, следующий: кислород — 46,8; кремний — 27,3; алюминий — 8,7; железо — 5,1; кальций — 3,6; натрий — 2,6; калий — 2,6; магний — 2,1; другие — 1,2.

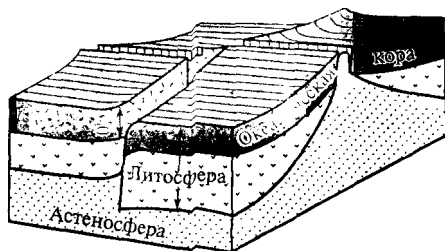
Как показывают последние данные, состав океанической коры настолько постоянен, что его можно считать одной из глобальных констант, так же как состав атмосферного воздуха или среднюю соленость морской воды. Это является свидетельством единства механизма ее образования.

Важным обстоятельством, отличающим земную кору от других внутренних геосфер, является наличие в ней повышенного содержания долгоживущих радиоактивных изотопов урана ²³²U, тория ²³⁷Th, калия ⁴⁰K, причем их наибольшая концентрация отмечена для «гранитного» слоя континентальной коры, в океанической же коре радиоактивных элементов ничтожно мало.



Р и с. 2. Схематический разрез зоны пододвигания океанической литосферы под континентальную

Литосфера — это оболочка Земли, объединяющая земную кору и часть верхней мантии. Характерным признаком литосферы является то, что в нее входят породы в твердом кристаллическом состоянии и она обладает жесткостью и прочностью. Вниз по разрезу от поверхности Земли наблюдается рост температуры. Расположенная под литосферой пластичная оболочка мантии — астеносфера, в которой при высоких температурах вещество частично расплавлено, и вследствие этого в отличие от литосферы астеносфера не обладает прочностью и может пластично деформироваться, вплоть до способности течь даже под действием очень малых избыточных давлений (рис. 2, 3). В свете современных представлений, согласно теории тектоники литосферных плит, установлено, что литосферные плиты, которые составляют внешнюю оболочку Земли, образуются за счет остывания и полной кристаллизации частично расплавленного вещества астеносферы, подобно тому, как это происходит, например, на реке при замерзании воды и образовании льда в морозный день. Следует отметить, что слагающий верхнюю мантию лерцолит обладает сложным составом, в связи с чем вещество астеносферы, находясь в твердом состоянии, механически



Р и с. 3. Блок-диаграмма трансформного разлома океанической литосферы

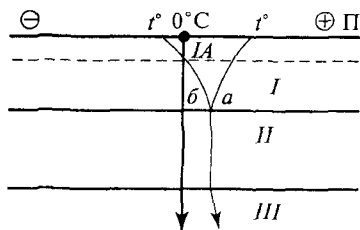
ослаблено настолько, что способно проявлять ползучесть. Это показывает, что астеносфера в масштабах геологического времени ведет себя как вязкая жидкость. Таким образом, литосфера способна к движению относительно нижней мантии за счет ослабленности астеносферы. Важным фактом, подтверждающим возможность перемещения литосферных плит, является то, что астеносфера выражена глобально, хотя ее глубина, мощность и физические свойства варьируют в широких пределах. Мощность литосферы меняется от нескольких километров под рифтовыми долинами срединных океанических хребтов до 100 км под периферией океанов, а под древними щитами мощность литосферы достигает 300—350 км.

Г л а в а 2

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Земная кора имеет два основных источника тепла: от Солнца и от распада радиоактивных веществ в своей нижней части на границе с верхней мантией. В недрах же Земли температура увеличивается с глубиной от 1300 °С в верхней мантии до 3700 °С в центре ядра. Увеличение температуры происходит по адиабатическому закону: оно зависит от сжатия вещества под давлением при невозможности теплообмена с окружающей средой.

В земной коре различают три температурные зоны: *I* — переменных температур; *II* — постоянных температур; *III* — нарастающих температур (рис. 4). Изменение температур в зоне переменных температур определяется климатом местности. Суточные колебания практически затухают на глубинах около 1,5 м, а годовые (сезонные) — на глубинах 20—30 м. Для средних широт характерна кривая *a* (летний период) и кривая *б* (зимний период). В зимний период в зоне *I* образуется также подзона промерзания (*IA*), где температура опускается ниже 0 °С. Мощность этой подзоны зависит от климата, типа горных пород и колеблется от нескольких сантиметров до 2 м и более.



Р и с. 4. Зоны температур
в земной коре
(П — поверхность Земли)

При строительстве необходимо устанавливать наличие на стройплощадках подзоны *IA* и величину глубины промерзания земли. Для решения этих вопросов используют три пути: 1) по соответствующей карте в СНиПе определяют наличие подзо-

ны и глубину промерзания; величину промерзания при этом корректируют по типу горных пород, например песок промерзает больше, чем глина; 2) величину промерзания можно определять по формулам или 3) использовать многолетние (более 10 лет) наблюдения за промерзанием земли в данном районе.

Знание величины промерзания позволяет строителям определять необходимую глубину заложения фундаментов объектов и подземных водонесущих коммуникаций.

По мере углубления в землю влияние сезонных колебаний температур уменьшается и на глубине примерно 15—40 м находится зона постоянной температуры, которая соответствует среднегодовой температуре данной местности. Под Москвой эта зона начинается на глубине 20 м, около Санкт-Петербурга с 19,6 м.

Зона постоянных температур может быть использована при различных видах подземного строительства.

В пределах зоны III температура с глубиной возрастает. Величина нарастания температуры на каждые 100 м глубины называется *геотермическим градиентом*, а глубина, при которой температура повышается на 1 °С, — *геотермической ступенью*. Теоретически средняя величина этой ступени составляет 33 м. Непосредственные измерения показали, что величина геотермической ступени на разных участках Земли колеблется довольно в широких пределах: Мончегонд — 6,54 м, Донецкий бассейн — 30,68 м и т. д.

Закономерное нарастание температуры с глубиной справедливо лишь до некоторой глубины. Исследования последних лет показали, что в Москве на глубине 1630 м она достигает +41 °С, а в Прикаспии на глубине 3000 м — уже +108 °С.

Нарастание температуры с глубиной следует учитывать при проектировании сооружений глубокого заложения, особенно при активно развивающемся в последние годы освоении подземного пространства городов, хранилищ различного рода промышленных отходов, особенно радиоактивных, при строительстве метрополитенов.

Глава 3

МИНЕРАЛЬНЫЙ И ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Земная кора сложена горными породами. Минералы входят в состав горных пород, хотя иногда создают и свои отдельные скопления. Прежде чем дать характеристику минералам и горным породам, следует заметить, что в строительном производстве

одновременно используют минеральные образования как природного, так и искусственного происхождения. Поэтому после описания минералов даются некоторые сведения по искусственным минералам, а после горных пород — по техническим каменным материалам. Минералы изучает наука *минералогия*, а горные породы — *петрография*.

МИНЕРАЛЫ

В настоящее время следует различать два вида минералов: 1) природного происхождения, рождение которых связано с процессами в земной коре; 2) искусственного происхождения, которые возникли в процессе техногенной деятельности человека (в том числе и целенаправленной).

1. Природные минералы. Под этими минералами понимают минеральные образования, сформировавшиеся в результате геохимических процессов, протекающих в земной коре. Каждый минерал имеет определенный химический состав, структуру и свои физические свойства.

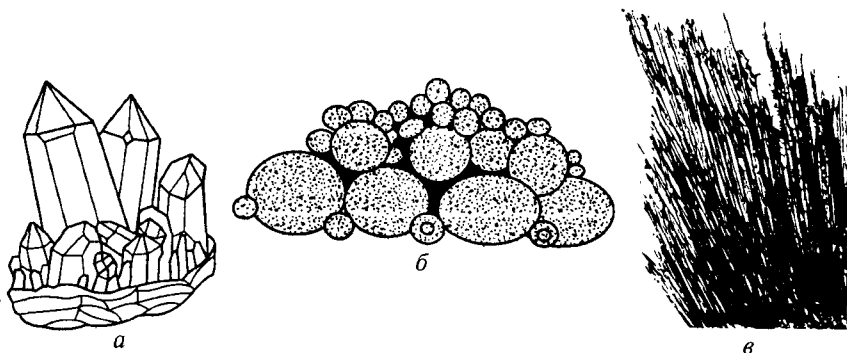
Иногда в земной коре минералы встречаются в виде самостоятельных скоплений, создавая ценные месторождения полезных ископаемых, но чаще входят в состав горных пород. Минералы определяют физико-механические свойства горных пород, поэтому с этой точки зрения представляют наибольший интерес для инженеров-строителей.

В земной коре содержится более 7000 минералов и их разновидностей. Большинство из них встречаются редко и лишь немногим более 100 минералов встречаются часто и в достаточно больших количествах, входят в состав тех или иных горных пород. Такие минералы называют *породообразующими*.

Каждый минерал имеет определенное внутреннее строение и присущие только ему внешние признаки и характеризуется своими свойствами (рис. 5). Все это обуславливается условиями тех геологических процессов, в которых рождаются минералы. Каждый минерал может существовать в природе лишь в определенных термодинамических условиях. При изменении этих условий минеральное тело видоизменяется или разрушается.

Происхождение минералов. Условия, в которых образуются минералы в природе, отличаются большим разнообразием и сложностью. Различают три основных процесса минералообразования: эндогенный, экзогенный и метаморфический.

Эндогенный процесс связан с внутренними силами Земли и проявляется в ее недрах. Минералы формируются из магмы — силикатного огненно-жидкого расплава. Таким путем обра-



Р и с. 5. Формы существования минералов:
а — кристаллическая; б — аморфная; с — кристаллоподобная

зуются, например, кварц и различные силикаты. Эндогенные минералы обычно плотные, с большой твердостью, стойкие к воде, кислотам, щелочам.

Экзогенный процесс свойственен поверхности земной коры. При этом процессе минералы формируются на суше и в море. В первом случае их создание связано с процессом выветривания, т. е. разрушительным воздействием воды, кислорода, колебаний температуры на эндогенные минералы. Таким образом образуются глинистые минералы (гидрослюда, каолинит и др.), различные железистые соединения (сульфиды, оксиды и др.). Во втором случае минералы формируются в процессе выпадения химических осадков из водных растворов (галит, сильвин и др.). В экзогенном процессе ряд минералов образуется также за счет жизнедеятельности различных организмов (опал и др.).

Экзогенные минералы разнообразны по свойствам. В большинстве случаев они имеют низкую твердость, активно взаимодействуют с водой или растворяются в ней.

Метаморфический процесс. Под воздействием высоких температур и давлений, а также магматических газов и воды на некоторой глубине в земной коре происходит преобразование минералов, ранее образовавшихся в экзогенных процессах. Минералы изменяют свое первоначальное состояние, перекристаллизуются, приобретают плотность, прочность. Так образуются многие минералы-силикаты (роговая обманка, актинолит и др.).

Структура. Минералы обладают кристаллической структурой или бывают аморфными. Большинство минералов имеет кристаллическое строение, в котором атомы расположены в строго определенном порядке, создавая пространственную решетку. Благодаря



Р и с. 6. Кристалл горного хрусталя
(кварца)

этому многие минералы внешне имеют вид правильных многогранников (кристаллов). Примером может служить кварц (рис. 6).

Со строением и характером пространственной решетки связаны свойства кристаллических тел. Прежде всего минералы обладают однородностью строения, состава и свойств, так как в каждой своей части, вплоть до размеров элементарной ячейки, они обладают одинаковым кристаллическим строением и химическим составом. Свойства минералов могут быть одинаковыми по всем направлениям (изотропные свойства) или разными по различным направлениям (анизотропные свойства) (рис. 7).

Аморфные минералы не имеют кристаллической структуры, по своим свойствам изотропны,

и для них характерна неправильная внешняя форма.

Химический состав. Каждый минерал характеризуется определенным химическим составом. В отдельных случаях можно встретить минералы сходного химического состава, но они обязательно имеют различное внутреннее строение, а следовательно, и различную внешнюю форму.

Химический состав кристаллических минералов выражается кристаллохимической формулой, которая одновременно показывает количественные соотношения элементов и характер их взаимной связи в пространственной решетке. Примерами таких формул минералов являются: каолинит — $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$, авгит — $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})[(\text{Si}, \text{Al}_2)\text{O}_6]$. Химическая формула аморфных минералов отражает только количественное соотношение элементов.

В составе многих минералов экзогенного происхождения содержится вода. Молекулярная вода не участвует в строении пространственной решетки, и ее удаление лишь обезвоживает минерал. Например, после нагревания гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ остается CaSO_4 , называемый ангидритом. Химически связанная вода в виде

Кристаллографическая система	Оси симметрии	Оси и углы	Основные формы кристаллов				
Кубическая		$a=b=c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$					Галенит Магнетит Пирит Альмандин Тетраэдрит
Тетрагональная		$a=b \neq c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$					Рутил Циркон Халькопирит Сканолит Апофит
Ромбическая		$a \neq b \neq c$ $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$					Софрин Церузит Оливин Энстатит Баритин
Моноклинная		$a \neq b \neq c$ $\alpha=\gamma=90^\circ$ $\beta \neq 90^\circ$					Гипс Реалгар Медантерит Авгит Ортоклаз
Тригональная		$a_1=a_2=a_3$ $\alpha_1=\alpha_2$ $\alpha_3 \neq 90^\circ$					Кальцит Цинабер Кварц Арагонит Турмалин
Гексагональная		$a_1=a_2=a_3 \neq c$ $\alpha=\beta=90^\circ$					Берилл Апатит Ванадит Нефелин Пирхотит
Триклинная		$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$					Альбит Дистен Калькантит Сасолит Родонит

Р и с. 7. Кристаллографическая характеристика минералов

(ОН) входит в пространственную решетку, например, глинистых минералов, и ее удаление приводит к разрушению минерала.

Физические свойства. Каждый минерал имеет определенные физические свойства. Главнейшими из них являются: внешняя форма, оптические характеристики (цвет, прозрачность, блеск), показатели твердости, спайность, излом, плотность.

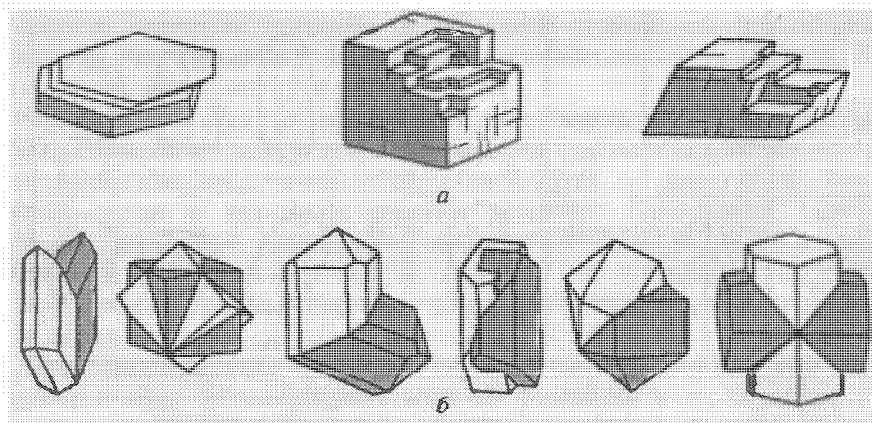
Внешняя форма минералов разнообразна. В природных условиях они чаще всего приобретают неправильные очертания. Хорошо ограненные кристаллы встречаются сравнительно редко (рис. 8). Для многих минералов характерны также формы землистого облика, агрегатных скоплений и др.

Цвет для очень многих минералов строго постоянен. Их условно разделяют на светлые (кварц, полевые шпаты, гипс, кальцит и др.) и темные (роговая обманка, авгит и др.).

Прозрачность — способность минералов пропускать свет. Выделяют три группы минералов: прозрачные (кварц, мусковит и др.), полупрозрачные (гипс, халцедон и др.) и непрозрачные (пирит, графит и др.).

Блеск — способность поверхности минералов отражать в различной степени свет. Блеск может быть металлическим и нематаллическим, который в свою очередь может быть стеклянным (силикаты), жирным (тальк), шелковистым (асбест) и т. д.

Твердость — способность минералов противостоять внешним механическим воздействиям. Каждому минералу присуща определенная твердость, которая ориентировочно оценивается по 10-бальной шкале твердости Мооса (табл. 3).



Р и с. 8. Различные формы кристаллов минералов:
а — минералы со спайностью; б — формы срастания минералов

Твердость минералов

Эталонный минерал	Твердость по шкале Мооса	Число истинной твердости, МПа	Визуальный признак твердости	Твердость по группам минералов
Тальк	1	24	Чертится ногтем	Мягкие
Гипс	2	360	То же	То же
Кальцит	3	1090	»	Средней твердости
Флюорит	4	1890	»	То же
Апатит	5	5360	»	»
Ортоклаз	6	7967	Царапает стекло	Твердые
Кварц	7	11 200	То же	То же
Топаз	8	14 270	Режет стекло	Очень твердые
Корунд	9	20 600	То же	То же
Алмаз	10	100 600	»	»

Спайность — способность минералов раскалываться или расщепляться по определенным направлениям с образованием плоскостей раскола. Это свойство обусловлено внутренним строением кристаллов и не зависит от их внешней формы.

Излом характеризует поверхность разрыва и раскалывания минералов. Различают излом по спайности (кальцит), раковистый (кварц), землистый (каолинит) и др.

Плотность минералов различна и колеблется в пределах от 0,6 до 19 г/см³. Наиболее распространенные значения находятся в пределах от 2,5 до 3 г/см³.

Минералы могут обладать рядом других физических свойств: хрупкостью, плавкостью, магнитностью, вкусом, запахом и т. д. Для отдельных минералов эти свойства могут быть характерными признаками, например галит (поваренная соль) — соленый, сера имеет запах при горении и т. д.

Классификация минералов. Основана в основном на их химическом составе. Все минералы разделяют на 10 классов (табл. 4).

Ниже дается краткая характеристика основных классов минералов, которые имеют наибольшее распространение в земной коре (рис. 9, 10, 11, 12, 13, 14).

Силикаты — наиболее многочисленный класс, включающий до 800 минералов, являющихся основной составной частью большинства магматических и метаморфических пород. Среди силикатов выделяют группы минералов, характеризующиеся некоторой общностью состава и строения, — полевые шпаты, пироксены, амфи-

болы, слюды, а также оливин, тальк, хлориты и глинистые минералы. Все они по своему составу алюмосиликаты (рис. 15).

Таблица 4

Классы минералов и типичные для них минералы

Класс	Минерал	Класс	Минерал
Силикаты	Ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$	Сульфаты	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Карбонаты	Кальцит $CaCO_3$	Галоиды	Галит $NaCl$
Оксиды	Кварц SiO_2	Фосфаты	Апатит $Ca_5(F,Cl)[PO_4]_3$
Гидроксиды	Опал $SiO_2 \cdot nH_2O$	Вольфраматы	Вольфрамит $(Fe,Mn)WO_4$
Сульфиды	Пирит FeS_2	Самородные элементы	Алмаз C

Оксиды и гидроксиды. Эти два класса объединяют около 200 минералов, на их долю приходится до 17 % всей массы земной коры. Наибольшее распространение имеют кварц, опал и лимонит.

Карбонаты. К ним относятся более 80 минералов. Наиболее распространены кальцит, магнезит, доломит. Происхождение в основном экзогенное и связано с водными растворами. В контакте с водой они немного снижают свою механическую прочность, хотя и слабо, но растворяются в воде, разрушаются в кислотах.

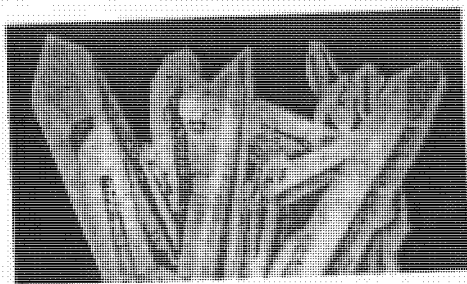
Сульфаты. Этот класс объединяет до 260 минералов, происхождение которых связано с водными растворами. Характеризуются небольшой твердостью, светлой окраской. Сравнительно хорошо растворяются в воде. Наибольшее распространение имеют гипс и ангидрит. При соприкосновении с водой ангидрит переходит в гипс, увеличиваясь в объеме до 33 %.

Сульфиды насчитывают до 200 минералов. Типичный представитель пирит. Сульфиды в зоне выветривания разрушаются, поэтому их примесь снижает качество строительных материалов.

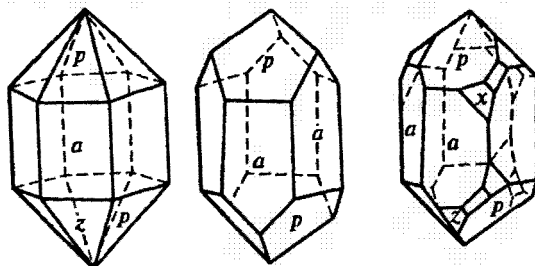
Галоиды содержат около 100 минералов. Происхождение связано в основном с водными растворами. Наибольшее распространение имеет галит. Может быть составной частью осадочных пород, легко растворяется в воде.

Минералы классов *фосфатов, вольфраматы* и *самородных элементов* встречаются гораздо реже, чем другие.

Радиоактивность минералов. Различные радиоактивные химические элементы (^{238}U , ^{232}Th , Ra и др.) содержат 97 природных



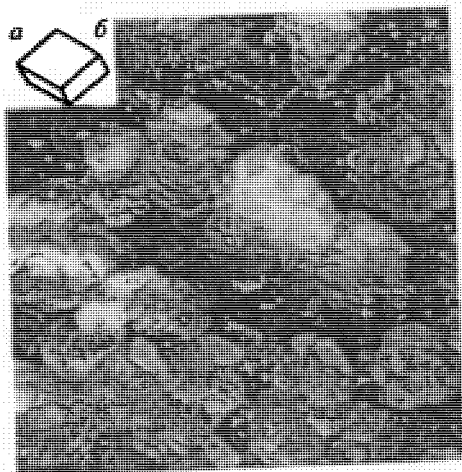
a



б

Р и с. 9. Кристалл кварца:

a — электронный снимок; *б* — схематические изображения

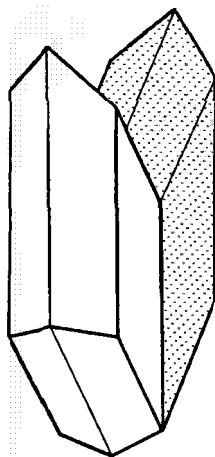


Р и с. 10. Кристалл кальцита:

a — схематическое изображение; *б* — электронный снимок



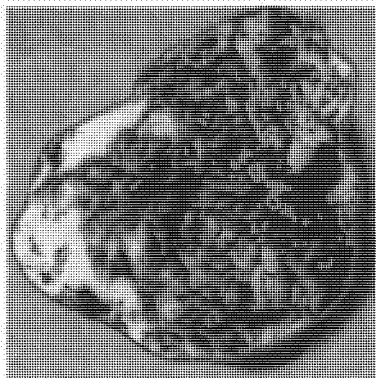
а



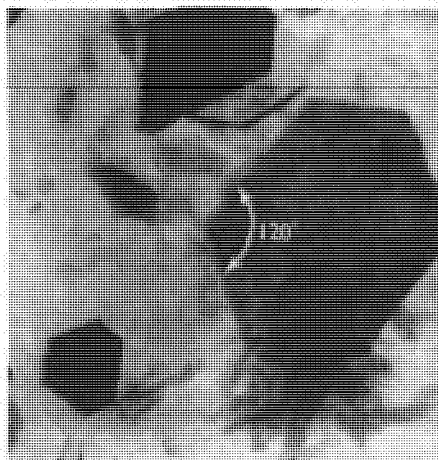
б

Р и с. 11. Кристалл гипса:

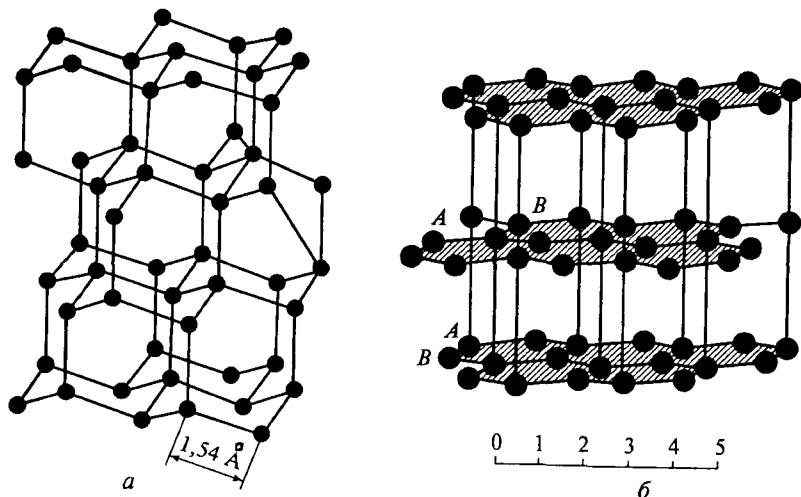
а — электронный снимок; *б* — схема двойника кристалла (сросток «ласточкин хвост»)



Р и с. 12. Снимок образца опала
(минерал с аморфным строением)



Р и с. 13. Электронный снимок
кристалла каолинита с увеличением
более чем в 10 000 раз



Р и с. 14. Формы кристаллических решеток алмаза (а) и графита (б)

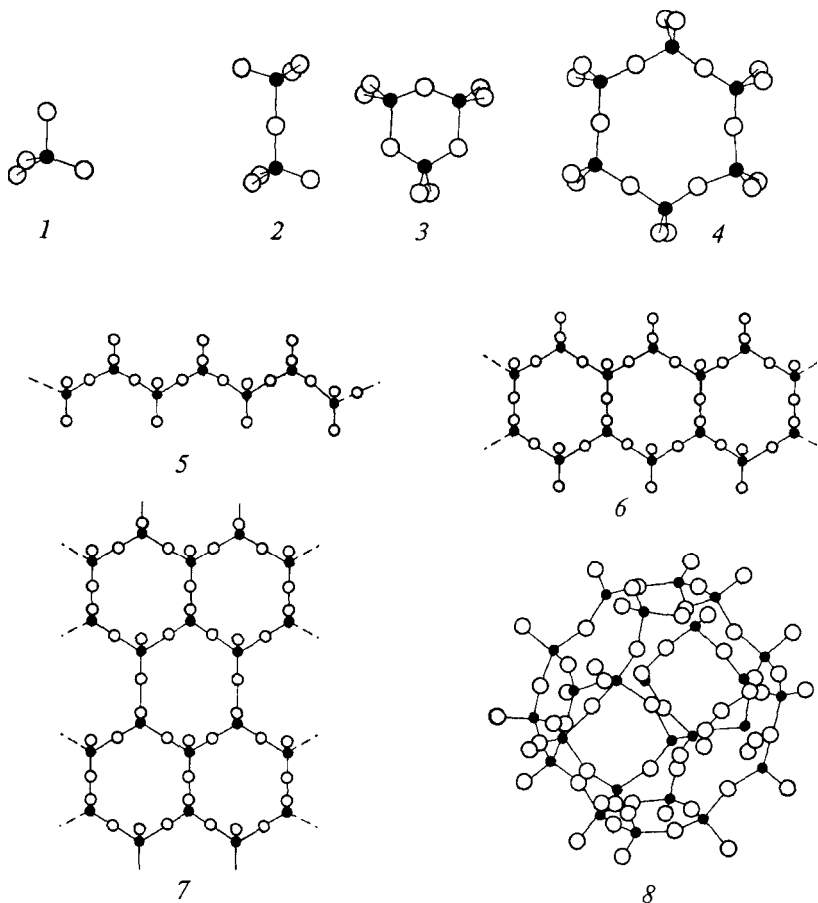
минералов. В минералах техногенных материалов могут присутствовать также искусственно созданные радиоактивные химические элементы — технеций, прометий, нептуний и др. Минералы и материалы с содержанием радиоактивных элементов дают излучение, интенсивность которого зависит от типа и количества этих элементов. Покажем это на примерах.

1. Минералы: эшинит содержит ^{232}Th до 30%, малое излучение; пироклор — ^{238}U до 17 %, большое излучение.

2. Минералы с различным содержанием ^{238}U : уранит — до 30 %, малое излучение; торбернит — до 60 %, большое излучение; карбонит — до 64 %, большое излучение.

Радиоактивные минералы наиболее часто присутствуют в гранитах и глинах, которые могут иметь довольно высокую «фоновую» радиоактивность, в то время как известняки и кварцевый песок обычно имеют низкую радиоактивность.

2. Искусственные минералы. В результате производственной деятельности человеком создано более 150 искусственных минералов. В настоящее время промышленность получает два вида искусственных минералов: аналоги и техногенные. *Аналоги* — это повторение природных минералов (алмаз, корунд, горный хрусталь и др.). *Техногенные* — это вновь созданные минералы с наперед заданными свойствами (например, алит — вяжущие свойства, муллит — огнеупорность и т. д.). Такие минералы входят в состав



Р и с. 15. Схемы структур силикатов различного состава:

1 — $[\text{SiO}_4]^{4-}$; 2 — $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$; 3 — $[\text{SiO}_3\text{O}_9]^{6-}$; 4 — кольцевая $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$; 5 — цепочечная $[\text{SiO}_3]^{2-}$; 6 — поясная $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$; 7 — листовидная; 8 — каркасная

различных строительных материалов: в цемент — алит $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$, белит $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$; в огнеупоры — муллит $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, периклаз MgO ; абразивы — карборунд SiC .

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Горные породы представляют собой природные минеральные агрегаты, которые «рождаются» в земной коре. Каждой породе свойственно известное постоянство химического и минерального состава, структуры, а иногда и условий залегания в земной коре.

Горные породы чаще всего полиминеральны. В отдельных случаях они могут состоять из одного минерала (кварцит из кварца, мрамор из кальцита). Горные породы не имеют химических формул. Их состав оценивается валовым химическим анализом, например химический состав базальта: SiO_2 — 49—52%, Al_2O_3 — 10—14 %, Fe_2O_3 — 4—14 %, CaO — 8—10% и т. д.

Сейчас в земной коре установлено около 1000 горных пород.

По своему происхождению их делят на три типа: магматические, осадочные, метаморфические. В земной коре магматические и метаморфические породы занимают 95 % общей ее массы. Осадочные породы располагаются непосредственно на поверхности Земли, покрывая собой в большинстве случаев магматические и метаморфические породы.

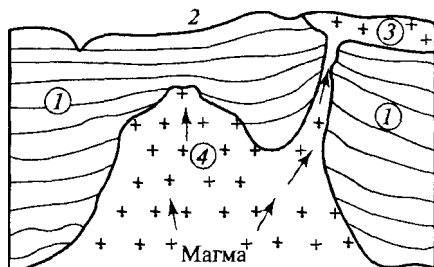
Магматические горные породы

Происхождение и классификация. Магматическими (или изверженными) горными породами называют горные породы, которые образовались в результате кристаллизации магмы при ее остывании в недрах Земли или на ее поверхности. Магма (или лава) — это сложный силикатный расплав примерно следующего состава: кислород — 46,7 %, кремний — 27,7 %, алюминий — 8,1 %, железо — 5,1 %, кальций — 3,6 %, магний — 2,1 %, натрий — 2,7 %, калий — 2,6 %, другие элементы обычно не превышают в среднем 1,4 %. Температура магмы различна, но обычно 100 — 1300 °C.

История формирования магматических горных пород берет начало с образования магмы, которая затем последовательно изменялась под воздействием слабо изученных сложнейших взаимосвязанных физических, химических, физико-химических процессов. Процессы эти во многом завершаются при охлаждении или кристаллизации магмы с образованием агрегатов силикатных минералов. В зависимости от условий, в которых происходит охлаждение и застывание (потеря подвижности) магмы, горные породы делят на *интрузивные* (глубинные) и *эффузивные* (излившиеся) (рис. 16).

Эффузивные породы образуются из той же магмы, что и глубинные, поэтому их называют аналогами глубинных пород. Разновидностями этих пород соответственно будут *жильные* и *вулканические*. При формировании вулканических пород на поверхности земли магму называют лавой.

Некоторые геологи считают, что в основе зарождения магмы лежит единая первичная магма базальтового состава, дальнейшая же дифференциация ее привела к образованию различных по составу магматических пород.



Р и с. 16. Схема образования магматических горных пород:
1 — толща осадочных пород; 2 — поверхность Земли; 3 — глубинные породы; 4 — излившиеся породы

Другие ученые говорят о том, что различные минералого-петрографические разности магматических горных пород обусловлены существованием нескольких первичных магм разного состава.

Некоторые специалисты считали, что возможно образование интрузивных пород (так называемых плутонов), особенно кислого состава, путем перекристаллизации ранее существовавших пород под действием повышенных температур, давлений и сложных по химическому составу растворов.

Любая из этих гипотез обуславливает необходимость дифференциации вещества магмы для формирования различных по составу изверженных пород. Особенности дифференциации магмы образуют как одну, так и несколько типов горных пород. Первичная базальтовая магма может сформировать габбро или же превратиться в целый ряд пород: габбро — диориты — гранодиориты — граниты. Кроме того, особенности дифференциации выражаются в виде реакции между кристаллами и расплавом и в сложном процессе межгравитационного разделения, сопровождающегося оседанием или поднятием кристаллов при существенном газовом переносе вещества и ассимиляции магмой вмещающих пород.

К настоящему времени петрографами выделено и описано множество разновидностей изверженных горных пород различного химико-минералогического состава.

Большинство силикатов (как правило, минералы магматических пород — это силикаты) имеют ковалентную связь между основными структурными элементами, что и создает высокую прочность магматических пород. При этом наибольшие значения модуля упругости и наибольшая прочность проявляются у горных пород, имеющих плотную, компактную структуру с высокой ковалентностью связи (дуниты, периодотиты, пироксениты).

Но не только это влияет на формирование прочности горных пород. Весьма важным является их последующее изменение в результате выветривания, скорость и интенсивность которого в

значительной мере определяются особенностями минералогического состава.

Так, известно, что одним из наиболее устойчивых минералов к выветриванию является кварц. Слюда же легко расслаивается под влиянием колебаний температуры, особенно если происходит их попеременное замораживание и оттаивание. Кроме того, биотит очень легко подвергается разрушению при химическом выветривании. Трещиноватые полевые шпаты, особенно основные и лабрадор, легко разрушаются при выветривании, в то время как их свежие разности более устойчивы к нему. Амфиболы и пироксены обычно оцениваются как устойчивые к выветриванию, а оливин — как легко разрушающийся, кстати, поэтому быстро выветриваются дуниты.

Хорошо известно, что пирит легко окисляется и в присутствии воды образует серную кислоту, тем самым ускоряя процесс разрушения других минералов в горной породе.

Однако на устойчивость магматических горных пород к выветриванию, на их прочностные и деформационные характеристики влияет не только минералогический состав, но в большей степени их структурно-текстурные особенности.

Структуры и текстуры магматических горных пород определяются их генезисом (происхождением).

Магма, поднимающаяся к земной поверхности, быстро охлаждается, вязкость ее увеличивается благодаря постепенной потере воды и газов. Это способствует формированию вулканического стекла с пелитовой или сферолитовой структурой. Последние наиболее характерны для палеотипных излившихся пород и образуются обычно при девитрификации стекла. В поверхностных условиях потоки магмы (в этом случае их называют лавовыми потоками) затвердевают сравнительно быстро, что не позволяет развиваться крупным кристаллам, и вследствие этого эффузивы обычно характеризуются афанитовой структурой (это характерно для пород с выраженной кристалличностью и стекловатых). Горные породы с подобными структурами обычно имеют высокую механическую прочность, но, как правило, излившиеся (эффузивные) породы образуются на поверхности Земли при низких давлениях и температурах при быстром охлаждении и дегазации вещества магмы. В таких условиях становится невозможной полная дифференциация; часть расплава застывает в виде аморфной массы, формируя породы неполнокристаллической структуры. Часто кристаллизация осуществляется в две фазы: медленная в глубине земной коры, когда образуются отдельные кристаллы минералов или их ассоциации, а затем быстрая на поверхности, когда происходит интенсивное остывание расплава. В

этом случае образуется неравномерно-кристаллическая (порфировая) структура. Наличие газов в застывающей на поверхности магме определяет повышенную пористость эффузивных пород.

Вулканические породы обладают довольно часто пузырчатой текстурой. Указанные эффузивы обычно усеяны газовыми пузырьками различной формы: миндалевидной, округлой, эллипсоидной. Пузырчатая текстура придает некоторым туфам Армении пористость до 60 % и снижает их плотность до 0,9—0,95 г/см³.

Довольно часто пустоты в вулканических породах выполнены вторичными минералами, тем самым сообщая им так называемую миндалевидную, или миндалекаменную, текстуру. Прочность таких пород резко повышается, но в силу своей неоднородности они все-таки уступают массивным разностям (это можно проследить на примере базальтов).

Очень похожее влияние на свойства вулканогенных пород оказывает порфировая структура, при которой крупные отдельные минералы или крупные совокупности нескольких минералов погружены в тонкозернистую или стекловатую массу минерала, слагающего породу. Порфировая структура не обязательна, хотя и характерна для эффузивов. Она свойственна для дайковых пород и иногда для пород мелких интрузий.

Вулканические и вулканокластические породы образуются при вулканических извержениях как на континентах, так и в морских бассейнах. Расплавы магмы быстро остывает, и в то же время происходит процесс интенсивной потери растворенных газов и паров. Это ведет к образованию вулканических стекол, скрытокристаллических высокопористых пород типа пемзы, а также специфических рыхлых вулканических пород.

Структуры и текстуры глубинных пород существенно иные. Магматический расплав в глубинах Земли в среде ранее образованных пород кристаллизуется постепенно под влиянием высокого давления в условиях медленного охлаждения и деятельного участия присутствующих летучих веществ, растворенных паров и газов. Минеральные зерна постепенно формируют специфические структуры и текстуры глубинных пород. Наиболее характерной особенностью интрузивных образований является полнокристаллическая относительно крупная и равномерно-зернистая структура. Встречено и описано значительное количество ее разновидностей. При инженерно-геологической оценке породы большое значение имеет размер зерен, так как мелкозернистые породы более прочны и устойчивы к выветриванию, нежели крупнозернистые.

Установлено, что минералы кристаллизуются в определенной последовательности, в зависимости от химического состава исходной магмы (основная и кислая), температуры плавления и т. д.

Основная магма кристаллизуется в следующей последовательности: оливин — пироксены-амфиболы — биотит — калиевый полевой шпат — мусковит — кварц; кислая магма: анортит — плагиоклазы — калиевый полевой шпат — мусковит — кварц.

Жильные породы образуются при кристаллизации магмы в трещинах горных пород, зачастую с интенсивным гидротермальным воздействием.

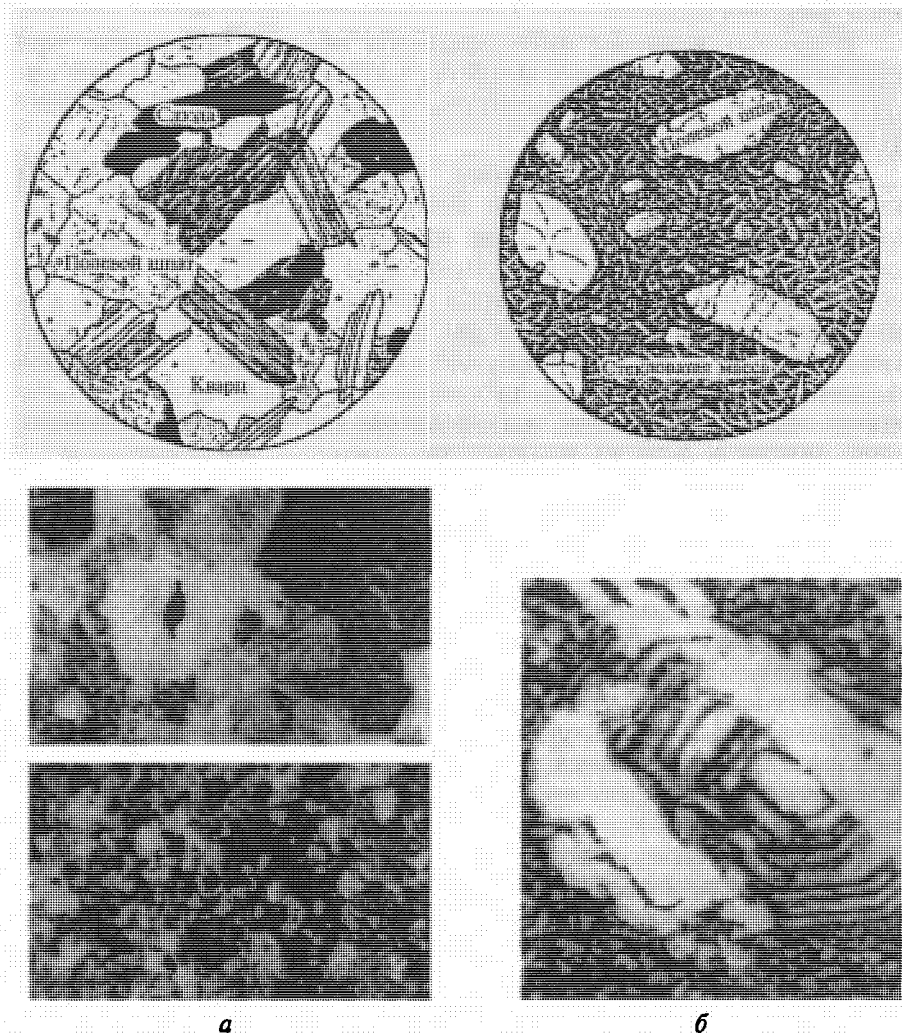
В данных условиях кристаллизация обычно происходит при сложной дифференциации вещества магмы, что является еще одним обстоятельством, приводящим к формированию полнокристаллической структуры.

Одной из наиболее важных характеристик, определяющих свойства магматических пород, является химический состав, формирующий в значительной мере их облик и обязательно минеральный состав. При классификации магматических пород по химическому составу используются данные о содержании в них диоксида кремния — SiO_2 (в % по массе): выделяют породы ультракислого (>75 %), кислого (65—75 %), среднего (55—65 %), основного (45—55 %) и ультраосновного (<45 %) состава, для которых характерны вполне определенные главные породообразующие минералы или их ассоциации.

Все магматические горные породы имеют с точки зрения использования их в строительстве достаточно много общего между собой (так общность физико-механических характеристик, в частности, обусловлена наличием практически у всех магматических пород жестких кристаллизационных связей между зернами минералов, возникающими в процессе формирования породы). Вследствие этого все магматические горные породы имеют высокую прочность, значительно превышающую нагрузки, известные и возможные в инженерно-строительной практике, нерастворимые в воде и практически водонепроницаемые в сохранном виде. Благодаря этому они широко используются в качестве оснований сооружений, особенно ответственных и уникальных, поэтому более 30 % всех высоких плотин на Земле построено на магматических горных породах.

Тем не менее существует ряд обстоятельств, которые приводят к осложнениям при строительстве на изверженных породах. Это, во-первых, их трещиноватость и выветрелость, которые для различных типов пород проявляются в разной степени и достаточно своеобразно. Во-вторых, чрезвычайно широкий диапазон изменений показателей физико-механических и деформационных свойств горных пород в зависимости от их состава и структуры, хотя и при высоких абсолютных значениях отдельных показателей.

В качестве примера остановимся на характеристике плотности интрузивных и древних эффузивных пород. Она, естественно, определяется их химическим и минералогическим составом: у сиенита — $2,62 \text{ г/см}^3$, диорита — $2,8 \text{ г/см}^3$, габбро — $2,95 \text{ г/см}^3$, перидотита — $3,2 \text{ г/см}^3$, липарита — $2,1 \text{ г/см}^3$, диабаза — $2,85 \text{ г/см}^3$. Плотность обычно возрастает вместе с уменьшением кислотности



Р и с. 17. Типы структур магматических пород:

а — глубинная порода с зернистой структурой; *б* — излившаяся порода с порфировой структурой (шлифы и электронно-микроскопические снимки)

породы, т. е. со сменой легких минералов относительно более тяжелыми. Для современных эффузивных пород плотность в большей степени определяется структурно-текстурными особенностями, в несколько меньшей степени — химико-минеральными характеристиками. Кроме того, любые вторичные изменения горных пород значительно влияют на физико-механические параметры, например, в общем случае хлоритизация (т. е. замещение некоторых минералов хлоритом) магматических пород вызывает снижение их плотности, модуля упругости, прочности, что достаточно четко фиксируется геофизическими методами по скорости распространения в них упругих волн (рис. 17).

В общем, в зонах преобразования магматических горных пород, будь то интенсивное выветривание, складкообразование или образование разрывов, трещин, других деформаций при тектонических движениях, землетрясениях или вулканизме, иных еще более интенсивных изменениях, включая антропогенное воздействие, происходит существенное изменение, переформирование состава и структуры изверженных горных пород, а это, естественно, влечет за собой заметное увеличение их пористости и трещиноватости, уменьшение плотности, снижение прочности, повышение деформативности, водопроницаемости, т. е. значительно ухудшает их инженерно-строительные характеристики.

Классификация магматических пород, кроме деления их на глубинные и излившиеся, основана также на содержании в них кремнезема в пересчете на SiO_2 (табл. 5).

Таблица 5

Классификация магматических горных пород по SiO_2

Состав пород		Породы	
содержание диоксида SiO_2 (%)	минералы	глубинные	излившиеся (аналоги глубинных)
Кислые породы (75—65)	Кварц, полевые шпаты (чаще ортоклаз), слюды	Граниты	Кварцевый порфир, липарит
Средние породы (65—52)	Полевые шпаты (чаще ортоклаз), роговая обманка, биотит	Сиениты	Ортоклазовый порфир, трахит
	Плаггиоклазы, роговая обманка, авгит, биотит	Диориты	Порфирит, андезит
Основные породы (52—40)	Плаггиоклазы (чаще лабрадор), авгит, иногда оливин	Габбро	Диабаз, базальт
Ультраосновные породы (менее 40)	Авгит	Пироксениты	—
	Авгит, оливин, рудные минералы	Перидотиты	—
	Оливин, рудные минералы	Дуниты	—

Разделение магматических пород по SiO_2 имеет практическое значение. Так, с уменьшением SiO_2 в глубинных породах возрастает плотность, понижается температура плавления, породы лучше поддаются полировке, окраска их становится темнее.

В составе магматических пород основное место занимают полевые шпаты, амфиболы, пироксены, кварц и слюды. В наиболее древних породах могут присутствовать вторичные минералы (карбонаты, глинистые), которые возникают в процессе выветривания из первичных минералов. Количество этих минералов может служить показателем степени выветрелости породы.

Свойства пород зависят от их внутреннего строения и сложения в массиве.

Структура — внутреннее строение породы, обусловленное формой, размерами, количественным соотношением ее составных частей — минералов. В магматических породах различают ряд структур, в частности: 1) зернистые, типичные для глубинных пород (рис. 18); 2) полукристаллические (совместное нахождение кристаллов и аморфного стекла); 3) стекловатые, типичные для излившихся пород (рис. 19).

Текстура (сложение) характеризует пространственное расположение частей породы в ее объеме, «рисунок» породы. Для магматических пород характерны следующие текстуры: 1) массивная — равномерное, плотное расположение минералов; 2) полосчатая — чередование в породе участков различного минерального со-

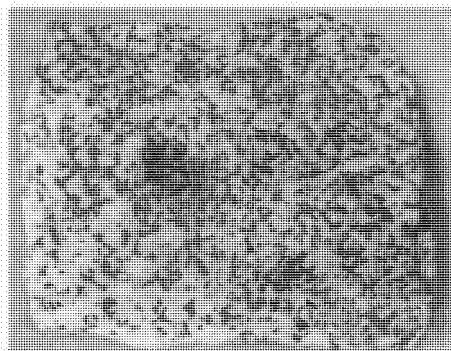


Рис. 18. Гранит — глубинная зернистая порода

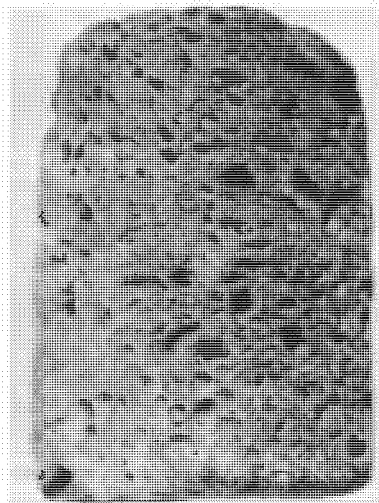


Рис. 19. Базальт — излившаяся стекловатая порода

става или различной структуры; 3) шлаковая — порода, содержащая видимые глазом пустоты.

Отдельности. При остывании магмы в связи с изменением объема в породах возникают тончайшие трещины, которые разбивают массив на отдельные участки (формы). В зависимости от системы расположения трещин возникают отдельности: столбчатая (базальт), глыбовая (гранит), шаровая (диабаз) и др.

Строительные свойства магматических пород высокие. Это объясняется их минеральным составом и жесткими кристаллизационными связями в структурах. Наибольшей прочностью отличаются мелко- и равномерно-зернистые структуры.

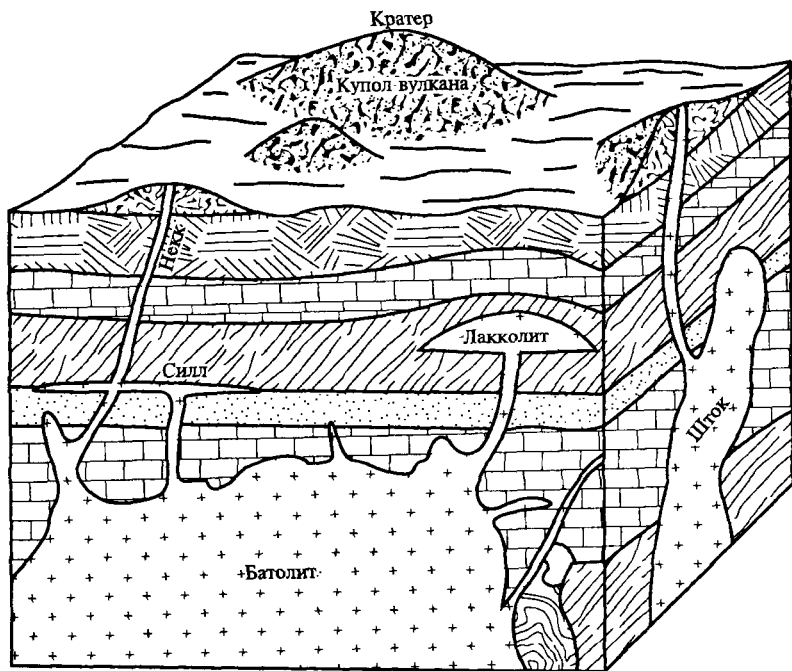
При оценке качества следует отдавать предпочтение массивной текстуре. Полосчатое сложение и отдельности облегчают разработку, но в целом снижают качество породы. Трещиноватость пород сокращает количество выпускаемой каменной продукции, обуславливает фильтрацию подземных вод.

В России магматические породы широко распространены в горных районах (Урал, Кавказ и др.), а также в Карелии, Сибири и т. д.

Формы залегания магматических пород. Глубинные горные породы залегают в виде батолитов (рис. 20) — огромных массивов площадью до нескольких сотен километров, залегающих глубоко от земной поверхности; штоков — ответвлений от батолитов; лакколитов — грибообразных форм, образованных при внедрении магмы между слоями осадочных толщ; жил, возникших при заполнении магмой трещин в земной коре, и др.

Для излившихся пород характерными являются купола — сводообразные формы; лавовые покровы, образовавшиеся в результате растекания магмы на поверхности Земли; потоки — вытянутые формы, возникшие в результате излияния магмы из вулканов.

Характеристика групп магматических пород. Кислые породы (содержание SiO_2 от 65 до 75 %) являются наиболее распространенными среди магматических пород. Основные их представители: гранит и его излившиеся аналоги — кварцевые порфиры, липариты, вулканические стекла. В группу средних пород (содержание SiO_2 от 52 до 65 %) входят глубинные породы: диориты (излившиеся аналоги — порфириты и андезиты) и сиениты (излившиеся аналоги — ортоклазовый порфир и трахит). В группу основных пород (содержание SiO_2 от 40 до 52 %) входят глубинная порода габбро и ее излившиеся аналоги — диабаз и базальт. Ультраосновные породы (содержание SiO_2 менее 40 %) имеют только глубинное происхождение, не содержат полевых шпатов и кварца. Распространение очень ограниченное. На поверхности



Р и с. 20. Блок-диаграмма форм залегания магматических тел (по М. Васичу)

земли неустойчивы и легко поддаются выветриванию. К ним относятся пироксениты, перидотиты, дуниты.

■ **Инженерно-геологическая характеристика некоторых интрузивных пород.** Среди интрузий наиболее распространенными являются породы кислого состава: граниты, гранодиориты, кварцевые диориты. Они лежат в основе строения древних кристаллических щитов: Балтийского, Украинского, Алданского. Эти породы слагают обширные площади в пределах Байкальской и Забайкальской складчатых систем, широко распространены на юге Сибири. Формы залегания достаточно обычны: батолиты, лакколиты, штоки. По своему строению интрузии выполнены следующим образом: во внутренних частях преобладают крупно- и среднезернистые породы, в краевых — мелкозернистые. Штоки и лакколиты в своих краевых частях представлены часто порфировидной структурой пород, а в жилах и дайках это обычно типично пегматитовая структура. Свойства пород естественным образом различны в разных частях интрузий, что определяется не только их структурой, но и разным характером трещиноватости, включая и микротрещиноватость.

Как известно, основными показателями физико-механических свойств магматических горных пород являются их плотность, водопоглощение, временное сопротивление сжатию, деформационные характеристики.

Не составляют исключения из этого правила граниты и другие кислые породы. Граниты часто используются в качестве оснований гидротехнических сооружений и строительных материалов.

Продолжая рассмотрение гранитов, как наиболее типичных представителей кислых изверженных пород, отметим, что биотитовые граниты имеют показатели прочности в среднем около 80 МПа, а в образцах, где отмечено замещение биотита хлоритом, прочность падает до 60—70 МПа. Самой низкой прочностью обладают фельдшпатизированные породы гранитного состава с характерной порфировидной структурой ($R_{сж} = 40—45$ МПа).

В типичных гранитах в сохранном виде (в невыветрелых образцах) прочность примерно одинакова как в водонасыщенном, так и в воздушно-сухом состоянии.

Рассматривая влияние возраста и условий формирования гранитных интрузий, следует отметить, что платформенные граниты обычно прочнее молодых, например кавказских, и обычно прочнее других древних. Это объясняется значительно меньшей катклазированнойностью первых по отношению ко всем другим. Модули упругости лежат в диапазоне $(40—85) \cdot 10^3$ МПа.

Модули общей деформации для гранитных массивов обычно несколько ниже полученных в испытаниях отдельных образцов, и их абсолютные значения определяются в первую очередь трещиноватостью.

В инженерно-геологическом отношении другие кислые интрузивные породы оценивались гораздо реже, можно дать лишь некоторые значения для зейских диоритов ($R_{сж}$ для воздушно-сухих образцов лежит в диапазоне 73—262 МПа, а для водонасыщенных — 52—221 МПа).

Интрузивные породы основного состава типа габбро по распространению намного уступают гранитам. Довольно часто они встречаются на Урале, слагают значительные площади на Украине, имеются на Кольском полуострове, Алтае и ряде горно-складчатых областей.

Показатели физико-механических свойств габбровых пород лежат в очень широких пределах, что объясняется их неоднородностью по составу и значительным изменением при тектонических процессах. Прочность на сжатие колеблется в пределах от 40—80 до 200—300 МПа при средних значениях, превышающих 100 МПа.

Отмечено, что даже в водонасыщенном состоянии среднее расчетное значение временного сопротивления сжатию обычно

оценивается в 125 МПа, при этом установлено, что для габбро водонасыщение и промораживание слабо влияют на его прочностные характеристики.

Показатели деформационных свойств габбро очень высоки, например, статический модуль упругости равен 125 МПа.

Водопроницаемость габбро определяется закономерностями распределения в их массиве трещин и зон тектонических нарушений. По данным ряда специалистов, установлено, что сильно разрушенные трещиноватые габбровые породы имеют коэффициент фильтрации 40 м/сут и более, тогда как неизменные нетрещиноватые габбро практически водонепроницаемы (удельное водопоглощение в них менее 0,01).

Отмечено, что породы габбрового состава обычно сильно рассланцованы, что приводит к интенсификации в них процессов выветривания. Коры выветривания габбро часто вполне отчетливо подразделяются на две части: верхняя зона (мощностью до нескольких метров) представлена обломками и щебнем выветрелой породы с участками рыхлой песчано-глинистой массы, нижняя зона (мощностью до 5—10 м, вдоль крупных тектонических трещин она распространяется на 20 м и более) сложена сильнотрещиноватыми водопроницаемыми породами типа «разборной» скалы.

Особое место среди интрузивных пород основного состава занимают долериты и диабазы (хотя последние рассматриваются, как правило, в ряду эффузивных пород). Эти породы слагают известные траппы Сибирской платформы. Типичной формой залегания пород являются силлы (пластовые залежи) в толще палеозойских пород. Эти породы подробно изучались при строительстве Братской, Усть-Илимской, Хантайской, Вилюйской гидроэлектростанций. Заметим попутно, что ссылки на результаты исследований магматических пород преимущественно на гидроэнергетических объектах обусловлены тем, что обычно эти сооружения передают такие нагрузки, которые могут быть восприняты исключительно рассматриваемыми породами. Диабазы и долериты имеют высокую прочность, весьма близкую по своим значениям для различных петрографических разновидностей. Среднее значение плотности 2,95—2,96 г/см³, пористость составляет 2,0—2,9 %.

Выветрелые диабазы, естественно, характеризуются меньшей плотностью, повышенной пористостью и меньшей прочностью: плотность снижается до 2,81—2,74 г/см³, пористость растет до 7 %, а прочность падает до 50 МПа и даже до 7 МПа, резко снижаются показатели деформационных свойств.

Водопроницаемость диабазов в трапповых интрузиях очень слабая. Только в зонах выветривания водопроницаемость резко возрастает (коэффициент фильтрации достигает 10 м/сут). Есте-

ственно она увеличивается и на участках развития трещиноватости в породах.

■ *Инженерно-геологическая характеристика некоторых эффузивных пород.* Излившиеся (эффузивные) породы отличаются большим разнообразием состава и условий залегания. Наибольшее распространение среди них имеют базальты. Объемное содержание их в земной коре примерно впятеро превышает объем всех остальных эффузивных пород вместе взятых. Базальтам обычно сопутствуют андезиты. Наиболее характерными формами залегания базальтов являются покровы и потоки. На Сибирской платформе описаны весьма обширные базальтовые излияния.

Молодые складчатые области Закавказья и Камчатки во многом сложены базальтами и андезито-базальтами. На Урале, в Саяно-Алтайской складчатой области, Казахстане широко распространены палеотипные породы основного состава — разнообразные порфириды. В лавовых потоках обычно прослеживаются прослои пирокластических пород — различных туфов, туфолав, туфобрекчий.

Наиболее изученными среди эффузивных пород, с инженерно-геологической точки зрения, являются базальты и андезито-базальты Армении. По возрасту они очень молоды. Это, как правило, неогеновые и четвертичные образования. Породы характеризуются столбчатой отдельностью, мелкозернистой долеритовой структурой с пористой или пузырчатой текстурой. Выделены также миндалекаменные текстуры базальтов, в некоторых андезито-базальтах установлено значительное содержание вулканического стекла (около 25 %), а также повышенная пористость (до 50 %). Кроме того, молодые базальты Армении отличаются интенсивной трещиноватостью, во многом обусловленной характером их первичной отдельности. Трещины чаще всего лишены заполнителя, а это ведет к тому, что водопроницаемость базальтовых массивов поднимается до нескольких сотен метров в сутки.

Физико-механические свойства базальтов и андезито-базальтов отличаются весьма значительным разнообразием, что объясняется большими различиями в их минеральном составе, структуре и текстуре.

Приведем характеристику некоторых представителей этой группы пород. Так, базальты мелкокристаллической структуры имеют плотность до $3,3 \text{ г/см}^3$, временное сопротивление сжатию — до 500 МПа, в то время как прочность пористых разновидностей базальтов может снижаться до 20 МПа и менее. Древние палеотипные породы также отличаются большой изменчивостью прочностных и деформационных свойств, но в общем в средних значениях по этим показателям они превышают более молодые разности. Объясняется это раскристаллизацией вулканического

стекла, постепенным заполнением пор вторичными минералами, а также другими постмагматическими преобразованиями излившихся пород. Наибольшей прочностью, как установлено, обладают оливиновые разности базальтов, наименьшей — авгитовые, при весьма существенном влиянии на нее особенностей структуры и текстуры пород. Например, среди мезозойских базальтов Сибирской платформы наиболее прочными являются массивные неизмененные порфировые базальты с микродиабазовой и микродolerитовой структурой. Установлено, что увеличение содержания разрушенного вулканического стекла до 10—15 % снижает прочность базальтов на 10—20 %, примерно также сказывается на ней и содержание миндалинов в количестве 10—20%.

Естественно, что степень выветрелости пород существенным образом отражается на их физико-механических характеристиках, например, резко понижает прочность. Так, для дальневосточных андезито-базальтов в свежих разностях $R_{сж} = 87—132$ МПа, в слабыветрелых — 64—82 МПа, средневыветрелых — 41—60 МПа, значительно выветрелых — 19—28 МПа. Объясняется это резким изменением состояния и свойств слагающих породу минералов. В первом случае, к примеру, все плагиоклазы свежие неразрушенные, во-втором — примерно половина полевых шпатов начала разрушаться по це нтру или вдоль внутренних трещин, в третьем — до 50 % полевых шпатов почти полностью изменены по всей массе кристалла, остальные вдоль трещин и, наконец, в четвертом случае все полевые шпаты почти полностью изменены по всей массе кристаллов и до половины их превращены в агрегаты сложения вторичных минералов.

Для базальтов и андезито-базальтов степень выветрелости и, естественно, мощность коры выветривания, как и обычно, существенным образом зависят от возраста и климатических условий.

Надо отметить, что практически другие эффузивные породы так подробно не изучались и для них можно дать лишь некоторые общие характеристики.

Андезиты имеют достаточно высокую прочность и устойчивость к выветриванию. Плотность их составляет 2,56—2,85 г/см³, а временное сопротивление сжатию изменяется в широком диапазоне 120—240 МПа, обусловленном влиянием как структурно-текстурных особенностей, так и состоянием породы.

Трахиты имеют, как правило, повышенную пористость, в связи с чем их плотность снижается до 2,2—2,6 г/см³, а средняя прочность на сжатие составляет не более 60—70 МПа.

Липариты отличаются прочностью и стойкостью к выветриванию. Наиболее прочными среди них являются фельзитовые раз-

ности, временное сопротивление сжатию которых составляет довольно высокие значения — до 280 МПа.

Особую группу пород представляют вулканические туфы, среди которых встречаются как очень слабые разности, так и довольно прочные. При выветривании они часто превращаются в каолиновые и бентонитовые глины. Отмечен также процесс, приводящий к упрочнению этих пород путем постепенного кремнения и цементации.

Осадочные горные породы

Происхождение осадочных пород. Любая находящаяся на земной поверхности порода подвергается выветриванию, т. е. разрушительному воздействию воды, колебаний температур и т. д. В результате даже самые массивные, прочные магматические породы постепенно разрушаются, образуя обломки разных размеров и распадаясь до мельчайших частиц.

Продукты разрушения переносятся ветром, водой и на определенном этапе переноса отлагаются, образуя рыхлые скопления или осадки. Накопление происходит на дне рек, морей, океанов и на поверхности суши. Из рыхлых скоплений (осадков) с течением времени формируются (уплотняются, приобретают структуру и т. д.) различные осадочные породы.

Осадочные породы слагают самые верхние слои земной коры, покрывая своеобразным чехлом породы магматического и метаморфического происхождения. Несмотря на то что осадочные породы составляют всего 5 % земной коры, земная поверхность на 75 % своей площади покрыта именно этими породами, в связи с чем строительство и производится в основном на осадочных породах. Инженерная геология этим породам уделяет наибольшее внимание.

Мощность толщ осадочных пород колеблется в широких пределах — в одних местах она очень мала, в других исчисляется километрами.

Инженерно-геологические свойства осадочных горных пород находятся в непосредственной зависимости от особенностей их состава, строения и состояния, равно как и другие горные породы, что нами неоднократно подчеркивалось выше. Наряду с этим надо отметить, что строение, состав и состояние породы формируются в зависимости от ее генезиса. Таким образом, инженерно-геологические свойства осадочных горных пород складываются в процессе литогенеза.

Под *литогенезом* принято понимать совокупность геологических процессов, определяющих современный состав, строение, состояние и свойства осадочных горных пород.

Процессы литогенеза достаточно условно подразделяют на ряд стадий:

- *гипергенез* — выветривание — разрушение кристаллических и других пород, образование новых минералов, обломков пород, обломков минералов, коллоидных и истинных растворов;

- *седиментогенез* — перенос и отложение материала — образование осадка;

- *диагенез* — превращение осадка в осадочную породу;

- *катагенез* — начальные изменения осадочной породы;

- *метагенез* — глубокие изменения осадочной породы — образование метаморфизованных осадочных пород.

Последние две стадии иногда объединяются под одним понятием — *эпигенез*. Осаждение вещества, его диагенетические и постдиагенетические преобразования протекают по-разному, в зависимости от физико-химических условий среды, температуры, давления, длительности и интенсивности процесса, например скоростей течения воды, движения воздуха, льда и т. п.

Особенности осадочных пород. Осадочные породы в силу специфических условий образования приобретают ряд особенностей, которые существенно отличают их от магматических и метаморфических пород. Это проявляется в минеральном и химическом составе, структурах, слоистости, пористости, зависимости состава и свойств пород от климата, в содержании органических остатков.

Минеральный и химический состав. В образовании осадочных пород, кроме минералов, из которых формировался рыхлый осадок (кварц, полевые шпаты и др.), принимают участие минералы, возникающие в данной породе в процессе ее существования (кальцит, каолинит и др.). Во многих случаях они играют существенную роль. Осадочные породы разнообразны по химическому составу. Это могут быть алюмосиликаты, карбонаты, оксиды, сульфаты и др.

Структура осадочных пород разнообразна. Почти каждый тип породы имеет свою, присущую только ему структуру. Для рыхлых пород характерны обломочные структуры, для сцементированных — брекчиевидные и т. д.

Пористость типична для всех осадочных пород, за исключением некоторых плотных химических осадков. Поры бывают мелкие, крупные и в виде каверн. Общая пористость может быть велика, например суглинки — 40—50 %, пески — 35—40 % и т. д. В порах могут располагаться вода, газ, органический материал.

Слоистость. Осадочные породы залегают в виде слоев (рис. 21), которые образуются в процессе периодического накопления осадков в водной и воздушной среде. В составе слоя может быть микрослоистость, отражающая осадконакопление в различные времена года. Микрослоистость характерна для озерных и речных отложений. В слое горной породы могут быть также тонкие слои других пород. Их называют *прослоями*. Например, в слое песка может быть тонкий прослой глины.

При резком различии слоев по составу, например, слой песка лежит на слое известняка; более или менее постоянной мощности и сравнительно большой занимаемой площади слои называют *пластами*. В таких случаях слои (пласты) обычно ограничены с двух сторон четко выраженными поверхностями, которые называют *плоскостями* (поверхностями) *напластования*, причем верхнюю плоскость называют — *кровлей*, нижнюю — *ложе*, а расстояние между ними — *мощностью слоя* (пласта). Наибольшей мощностью пластов обладают морские отложения (до сотен и даже тысяч метров). Континентальные образования четвертичной системы, залегающие непосредственно под слоем почвы, имеют, как правило, относительно небольшую мощность (10—50 м).

Комплекс слоев, объединенных сходством состава или возраста, или один слой, но значительной мощности, нередко называют *толщей*. Примером могут служить толщи лессовых пород, мощность которых может достигать десятков метров.

Слои образуются в процессе накопления осадков в морях, озерах, долинах рек и т. д. Это обуславливает образование слоев различной формы как по размеру в плане, так и по очертаниям

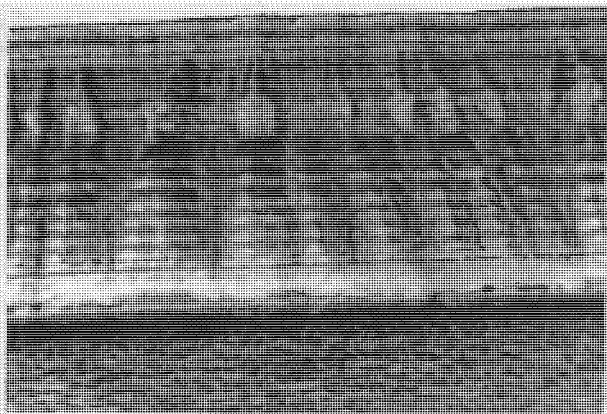
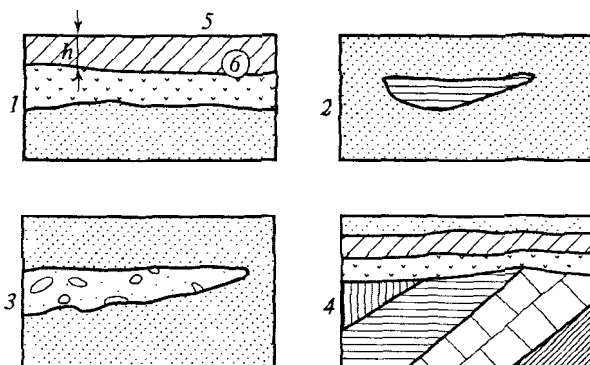
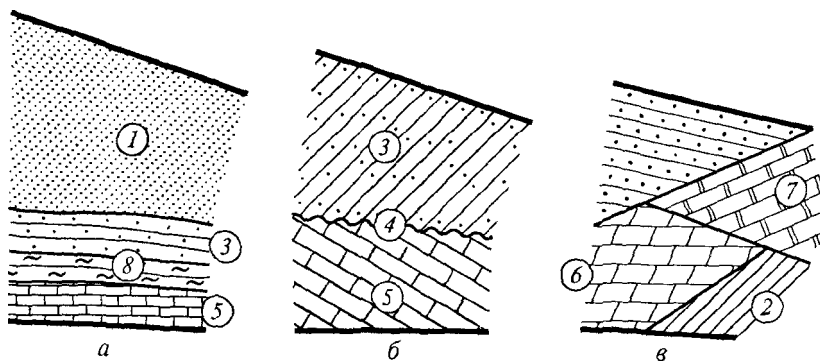


Рис. 21. Слоистое залегание осадочных пород, четко выделяющееся в обнаженном откосе речного берега



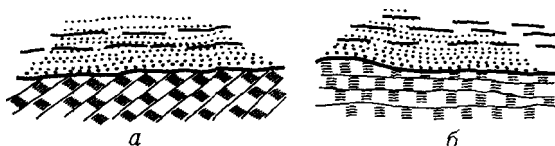
Р и с. 22. Формы слоев осадочных пород:

1 — нормальное залегание; 2 — линза глины в песке; 3 — выклинивание галечника в песчаной толще; 4 — несогласное залегание грунтов; 5 — поверхность земли (кровли слоя); 6 — подошва (ложе) слоя; h — мощность слоя



Р и с. 23. Разновидности слоистых толщ осадочных пород:

a — нормальная; *б* — косая; *в* — перекрестная; 1 — песок; 2 — глина; 3 — глина опесчаненная; 4 — границы трансгрессии; 5 — известняк; 6 — аргиллит; 7 — доломит; 8 — иловатая глина



Р и с. 24. Угловое несогласие (*a*); перерыв в осадконакоплении (*б*)

по вертикали. Наиболее обычным является *нормальный слой* (рис. 22), для которого характерна сравнительно большая мощность и протяженность, параллельность кровли подошве. Для континентальных отложений характерны также *линзы* — слои, занимающие малые площади с выклиниванием мощности к краям слоя, и *выклинивающиеся слои*, мощности которых уменьшаются в одну сторону.

Важное практическое значение для инженерной геологии представляет сочетание слоев. При согласном залегании слои лежат параллельно друг другу (рис. 23, 24), чаще всего горизонтально. Такое залегание слоев характерно равнинам. В других случаях за счет тектонических движений земной коры возникает несогласное залегание слоев (см. рис. 23, 24). Одна группа слоев при этом залегает непараллельно другой группе.

Климатические условия влияют на состав и свойства осадочных пород: в пустынях образуются породы обломочного характера, в замкнутых бассейнах накапливаются отложения солей и т. д. Окраска пород зависит от климатических условий: породы тропиков и субтропиков обладают красноватой окраской, *холодному климату свойственны серые тона*.

Органические остатки наблюдаются в большинстве осадочных пород. Это остатки растений или скелетных частей, раковин организмов в виде окаменелостей.

Классификация осадочных пород. Осадочные породы принято подразделять на три основные группы: 1) обломочные, 2) химического происхождения (хемогенные); 3) органогенные, возникшие в результате жизнедеятельности организмов. Это деление несколько условно, так как многие породы имеют смешанное происхождение, например, отдельные известняки содержат в своем составе материал органогенного, химического и обломочного характера.

Обломочные породы. Породы обломочного происхождения состоят из продуктов механического разрушения магматических и метаморфических пород, а также ранее образовавшихся осадочных пород (песчаников, известняков и др.).

В табл. 6 приведена основная классификация обломочных пород. В ее основе: размеры обломков — грубые, песчаные, пылеватые, глинистые; внешние очертания обломков (угловатые или окатанные) и наличие структурных связей между обломками (рыхлые скопления или сцементированные между собой обломки).

Следует отметить, что глинистые частицы к обломкам отнесены условно, так как их происхождение больше связано с химическими процессами и меньше с механическим разрушением.

Классификация обломочных осадочных пород

Размер обломков, мм	Обломки		Обломочные породы			Фракции по ГОСТ 25100—95
	угловатые	окатанные	рыхлые	сцементированные из частиц		
				угловатых	окатанных	
Более 200	Глыбы	Валуны	Грубообломочные	Брекчии	Конгломераты	Валунная (каменистая)
200—40	Щебень	Галечник				Галечниковая (щебенистая)
40—2	Дресва	Гравий				Гравийная (дресвяная)
2—0,05	Песчаные		Песчаные		Песчаники	Песчаная
0,05—0,005	Пылеватые		Пылеватые		Алевролиты	Пылеватая
Менее 0,005	Глинистые		Глинистые		Аргиллиты	Глинистая

Окатанность возникает в процессе переноса обломков водой. В природе чаще всего встречаются скопления, состоящие из обломков разного размера. Название обломочной породе при этом дается по обломкам, которые в породе занимают более 50%.

К обломочным породам в виде самостоятельной группы относят *пирокластические* породы, которые формируются из твердых вулканических продуктов (пепла, песка). Оседая на поверхность земли, песок и пепел образуют сцементированные накопления (пепел, туфы и др.).

Грубообломочные породы. В их состав входят угловатые (глыбы, щебень, дресва) и окатанные (валуны, галька, гравий) обломки различных горных пород. Наибольшее количество приходится на горные районы, морские побережья, речные долины, районы ледниковых отложений.

Песчаные породы — рыхлые накопления, состоящие из обломков минералов песчаного размера (2—0,05 мм). Таких частиц в породе должно быть не менее 50 %. По крупности частиц пески подразделяют на крупные (2—0,5 мм), средние (0,5—0,25 мм), мелкие (0,25—1 мм) и пылеватые (менее 0,1 мм). В песках преобладают минералы, наиболее устойчивые к выветриванию (кварц, слюды и др.).

Мономинеральные пески, например кварцевые, встречаются редко. «Вредными» в строительном отношении примесями явля-

ются оксиды железа, гипс, слюды, глинистые частицы. Происхождение песков — речное, ветровое, морское и т. д.

Глинистые породы. Глинистые частицы являются основными составными частями супесей, суглинков и глин. Каждая из этих пород в зависимости от количественного взаимоотношения пылеватых и глинистых частиц имеет свои разновидности. Так, супесь бывает легкая крупная, легкая пылеватая, тяжелая пылеватая; суглинки — легкие, легкие пылеватые, тяжелые, тяжелые пылеватые; глины — опесчаненные, жирные.

Глинистые породы составляют около 50 % общего объема осадочных пород и чаще всего являются основаниями различных зданий и сооружений.

■ **Инженерно-геологическая характеристика осадочных горных пород без жестких связей.** Обломочные, глинистые, некоторые представители хемогенных и органогенных пород достаточно условно можно объединить в группу пород без жестких связей, что полностью характеризует «взаимоотношения» слагающих их элементов. Эта группа объединяет большой и разнообразный круг пород — от высокодисперсных глин до грубообломочных пород. Группа описываемых пород подразделяется на три крупные подгруппы: первая объединяет глинистые и пылеватые, или связные, вторая — обломочные несцементированные, или несвязные, третья — биогенные. В подгруппу связных входят глинистые и лессовые породы, для которых характерно значительное содержание глинистых и пылеватых частиц. Отдельно рассматриваются породы, имеющие жесткие связи, — это сцементированные породы типа песчаников или аргиллитов.

Глинистые частицы формируются, в основном, в процессе химического выветривания. Наличие этих частиц в породах в значительном количестве обуславливает проявление нового характера связей между всеми элементами (частицами). В данном случае говорить только о минералах нельзя, так как частицы могут быть представлены как отдельными минералами, так и их агрегатами, обломками минералов, пород и т. д. Это коллоидные связи, которые являются следствием действия сил молекулярного и электростатического притяжения как непосредственно между самими частицами, так и между частицами и молекулами воды, содержащейся в породе. При непосредственном взаимодействии между частицами устанавливаются достаточно прочные связи, обуславливающие вполне высокую прочность породы в целом. В том случае, когда минеральные частицы окружены оболочками воды, взаимодействие может осуществляться лишь через эти оболочки, и, естественно, что связи между частицами (они называются водноколлоидными) оказываются менее прочными. При та-

ких связях частицы под влиянием внешних усилий могут перемещаться без нарушения сплошности всей массы породы, а это означает, что порода обладает способностью к значительным пластическим деформациям. Такие породы, которые могут при определенной степени влажности (увлажнения) переходить в пластичное состояние, с инженерно-строительной точки зрения должны быть выделены в отдельную общность грунтов, которая именуется связными или пластичными.

К *связным* относят различные глины, суглинки, супеси, лессы и лессовидные породы. Все они формируются преимущественно под влиянием процессов выветривания и денудации (хотя имеются и морские глины различных генетических типов), когда наряду с агентами физического выветривания активно действуют агенты химического выветривания.

Благодаря этому изменяется не только минеральный состав пород, но и степень их дисперсности. Химические реакции, протекающие в природе, приводят к возникновению и накоплению глинистых частиц (размером менее 0,001 мм), коллоидных частиц (размером менее 0,025 мм). Агенты химического выветривания являются основным фактором, обуславливающим особенности состава пород, входящих в связные.

Связные породы обладают целым рядом свойств, значительно отличающих их от других грунтов. К числу наиболее характерных особенностей следовало бы отнести изменение их свойств в зависимости от влажности. Так, с ростом влажности прочность резко снижается, в сухом же состоянии эти породы способны выдерживать без разрушения весьма значительные нагрузки.

При большом содержании воды порода вообще способна перейти в текучее состояние. Связные грунты при определенной влажности проявляют пластичность и липкость, они набухают при увлажнении и дают усадку при высыхании. Пористость обычно высокая, однако, несмотря на это, водопроницаемость незначительна, так как пористость породы сформирована преимущественно замкнутыми микропорами.

Связные породы, в свою очередь, подразделяют на глинистые, лессовые и алевритовые.

К *глинистым* относят породы, у которых содержание глинистых частиц превышает 3 %. Эти грунты обладают хорошо выраженными пластическими свойствами и способностью к набуханию в воде. Во влажном состоянии они практически водонепроницаемы.

По петрографическому составу глинистые грунты можно разделить на глины, суглинки и супеси.

К *глинам* обыкновенно относят породы, у которых содержание глинистых частиц превышает 30 %. Встречаются глины, об-

ладающие высокой дисперсностью, у них количество глинистых частиц может достигать 60 % и более. Как правило, в глинах содержится много коллоидов. Среди глин преобладают полиминеральные. Описанные выше особенности связных или глинистых грунтов выражены у глин особенно ярко.

Содержание глинистых частиц у *суглинков* меньше, чем у глин — около 10—30 %, в связи с этим количество коллоидов тоже не так велико. Мономинеральных разностей среди суглинков не встречается. Свойства, характерные для глинистых пород, выражены, естественно, в суглинках менее ярко.

Супеси содержат от 3 до 10 % глинистых частиц, вследствие чего по своим инженерно-геологическим свойствам они занимают как бы промежуточное положение между глинистыми и песчаными грунтами.

Глинистые грунты могут формироваться под воздействием различных природных процессов. В соответствии с этим при их подразделении в инженерно-геологических целях выделяют не только петрографические, но и генетические типы.

Каждый тип характеризуется присущими ему особенностями состава, структуры и текстуры глинистых толщ. Выделяют элювиальные, делювиальные, пролювиальные, аллювиальные, флювиогляциальные, озерные, озерно-болотные, морские, моренные, эоловые супеси, суглинки и глины (кроме, пожалуй, эоловых глин). Глинистые породы являются одним из наиболее широко распространенных типов грунтов. Они встречаются среди отложений различного возраста, начиная с кембрия и кончая современными, по сути еще формирующимися образованиями. По мнению Л.Б. Рухина, глинистые породы составляют не менее 60 % общего объема осадочных пород. Эти породы часто вовлекаются в сферу интересов инженеров-строителей и в связи с этим необходимо достаточно серьезное к ним отношение, с учетом того, что состав глинистых грунтов, структурно-текстурные особенности, а также строение слагаемых ими толщ определяются генезисом. Кроме того, ощутимое влияние на свойства глинистых грунтов оказывают их возраст и условия залегания.

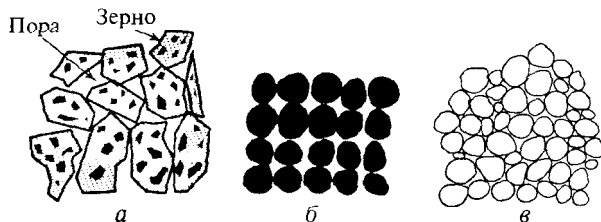
Пески имеют чрезвычайно широкое распространение. Согласно данным Л.Б. Рухина, площадь, занятая в СНГ песками, равняется примерно 2 млн км², из которых чуть меньше трети (600 тыс. км²) приходится на территорию Европейской части СНГ. Массивы песков Средней Азии и Казахстана имеют площадь около 1 млн км². Интенсивное использование песков в строительной практике в различных целях предопределяет необходимость тщательного их изучения. Песчаные породы открывают в нашем описании распространенную группу несвязных грун-

тов, не имеющих или почти не имеющих аналогичных глинистым грунтам связей между частицами и реализующие свои прочностные и деформационные характеристики за счет других особенностей своего внутреннего строения.

Состав, строение и свойства песков определяются, как и у всех пород, их генезисом. Установлено, что разные генетические типы песков имеют различное распространение: в Европейской части СНГ, включая страны Балтии, 51 % площади занимают аллювиальные пески, 24 % — водноледниковые, 11,3 % — эоловые, 3,6 % — аллювиальные, 5—6 % — морские, 1,6 % — озерные, 1,5 % — остальные типы.

Крупнообломочные породы представляют собой преимущественно обломки пород размером более 2 мм. Обломки эти нецементированы и аналогичны во взаимодействии друг с другом песчаным грунтам, т.е. в них отсутствуют связи, характерные для глинистых грунтов и грунтов с жесткими кристаллизационными связями. Обломки пород, в основном определяющие свойства и поведение грунтов под сооружениями, могут иметь различный петрографический состав и различную форму, степень обработанности, что, с одной стороны, определяется составом пород, а с другой (и это главное) — генезисом крупнообломочных пород (рис. 25).

■ *Инженерно-геологическая характеристика осадочных пород с жесткими связями. Обломочные цементированные породы.* Рыхлые обломочные породы в природных условиях могут подвергаться цементации за счет веществ, выделяющихся из циркулирующих в них водных растворов; в поры может вноситься («вмываться») пылеватый и глинистый материал. Кроме того, в них могут выпадать из растворов в осадок гипс, кальцит, кремнекислота, гидроксиды железа и другие соединения. Появление этих веществ в толще нецементированных обломочных грунтов приводит не только к увеличению плотности последних, но и вызывает образование проч-



Р и с. 25. Формирование пористости зернистых пород различной морфологии:
а — угловатых; *б* — окатанных («кубическая установка»); *в* — окатанных различного размера («гексагональная упаковка»)

ных кристаллизационных связей между отдельными частицами вследствие цементации межчастичного пространства. В итоге в ходе геологической «жизни» несцементированные крупнообломочные породы и пески превращаются в конгломераты, брекчии, песчаники, т. е. в грунты с жесткими кристаллизационными связями. Обычно это происходит в зоне цементации, которая располагается в земной коре на некоторой глубине ниже зоны выветривания.

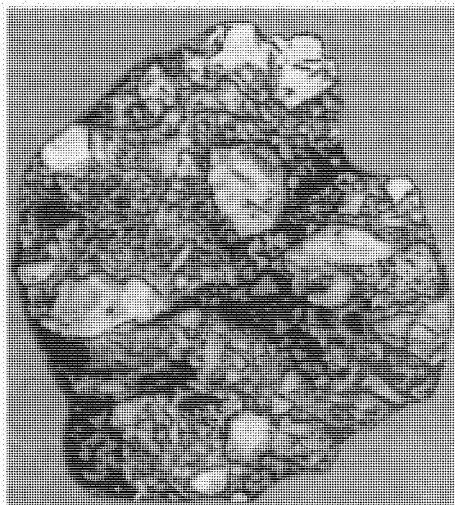
По взаимоотношению обломков (или зерен) и цементирующего вещества различают базальный, контактовый и поровый тип цемента. Наиболее прочны породы с базальным цементом, в котором обломки рассеяны в общей массе цементирующего вещества. Цементирующие вещества по своему составу могут быть кремнеземистыми, железистыми, известковыми и глинистыми. Наиболее прочным является кремнеземистый цемент, наименее прочным — глинистый. Наиболее широко распространены следующие типы сцементированных пород: конгломераты, брекчии, алевролиты и аргиллиты.

Обломочные сцементированные породы, как правило, терригенные и их свойства обусловлены в большинстве случаев составом цементирующего вещества, его количеством и типом. Наиболее характерными цементами в терригенных породах являются кремнистый (кварцевый), железистый, карбонатный и глинистый. Реже встречаются породы, сцементированные гипсом, еще реже — имеющие в виде цемента галлоидные соединения.

Обломочные породы в зависимости от размера составляющих частиц могут быть подразделены на крупнообломочные сцементированные: конгломераты, гравелиты, реже брекчии; мелкообломочные сцементированные (песчаные), объединяющие крупно-, средне- и мелкозернистые песчаники.

Среди крупнообломочных сцементированных пород наиболее известны, описаны и изучены конгломераты (рис. 26). Они в общем-то и самые распространенные среди сцементированных пород. Мощные толщи конгломератов образовались в эпохи горообразования (при орогенезе).

Гравелиты в виде толщ значительной мощности встречаются значительно реже, чем конгломераты, а чаще образуют пачки и прослои, переслаивающиеся с другими терригенными породами. Гравелиты состоят из обломков алевролитов, песчаников, эффузивных или интрузивных пород гравийных размеров, сцементированных различного состава цементом. Состав и тип цемента определяют физико-механические свойства гравелитов. Они относительно легко выветриваются, при этом сначала выкрашиваются гравийные зерна, а затем порода распадается на обломки неправильной формы, образующие глыбовые осыпи, кумы и каменные потоки.



Р и с. 26. Осадочная сцементированная порода — конгломерат

Песчаные сцементированные породы по величине составляющих их зерен и соотношению фракций различного размера частиц подразделяют на однородные (крупно-, средне-, мелко-, тонкозернистые) и разнозернистые. По минеральному составу преобладают песчаники полиминерального состава, плохо сортированные, с преимущественно слабоокатанными зернами. Встречаются также мезомиктовые, полимиктовые и олигомиктовые песчаники, но значительно реже. Цемент песчаников также может быть самым разнообразным как по составу, так и по типу (базальный, поровый, пленочный и т. д.). Все эти факторы по существу определяют физико-механические свойства песчаников и обуславливают значительное разнообразие этих свойств, что является достаточно характерным для этого типа осадочных пород.

Наибольшей прочностью, как установлено, обладают кварцевые песчаники с кремнистым или железистым цементом. Среднее значение их сопротивления сжатию, как правило, превышает 150—200 МПа. Наименее прочные песчаники, обычно сцементированные глинистым цементом, имеют прочность не более 1—2 МПа.

Определенное влияние на инженерно-геологические свойства песчаников оказывают состав песчаной фракции и размер песчаных зерен. Если мелкозернистые песчаники имеют прочность на сжатие в среднем 120 МПа, то среднезернистые—около 90 МПа. Играет также роль и возраст породы. Например, от древних пород

к молодым меняется характер цемента и увеличивается пористость, что, в свою очередь, снижает прочность. Однако известно, что среди достаточно молодых (например, меловых) песчаников Подмосковья встречаются прослои и линзы песчаников на кремнистом цементе, прочность которых превышает 200 МПа.

Большое разнообразие песчаников и их свойств требует тщательной инженерно-геологической оценки. Крепкие песчаники являются высокопрочными породами, устойчивыми к выветриванию, малосжимаемыми, слабопроницаемыми (фильтрующими воду исключительно по трещинам). Слабопрочные разновидности песчаников легко выветриваются, часто разрушаются до песков. Эти породы характеризуются водопроницаемостью по порам (кроме трещин) и являются неводостойкими образованиями.

Пылеватые и глинистые цементированные и сильноуплотненные породы. Типичными представителями этих пород являются *аргиллиты* и *алевролиты*. Они образуются при «окаменении» песчано-пылеватых и глинистых пород вследствие их уплотнения, повышения температуры и кристаллизации коллоидов. Аргиллиты типичны для платформенных областей, где они залегают среди недислоцированных и неметаморфизованных пород. Алевролиты встречаются как в платформенных, так и в складчатых областях. Алевролиты из складчатых областей часто несут на себе следы метаморфизма.

Алевролиты и аргиллиты редко образуют однородные тела значительных размеров. Чаще всего они залегают прослоями в толще песчаных или песчано-карбонатных пород. В зависимости от гранулометрического состава они могут быть песчаными, пылеватыми или глинистыми (в данном случае это характеристика состава главных примесей). Характеристика состава является определяющей в оценке формирования физико-механических свойств описываемых пород, но тем не менее главнейшими факторами, сказывающимися на прочностных параметрах аргиллитов и алевролитов, являются тип и состав цемента. В зависимости от цемента алевролиты и аргиллиты образуют обширный ряд последовательных переходов от слабопрочных разновидностей, близких по своим свойствам к глинам, до окварцованных пород, среднее значение прочности которых превышает 100 МПа. В большинстве случаев алевролиты и аргиллиты в инженерно-геологической практике оцениваются как породы с худшими показателями, нежели песчаник. Объясняется это тем, что породы обладают выраженной слоистостью, особенно в тонкозернистых разновидностях, и вследствие этого значительной анизотропией свойств. По базальным поверхностям алевролиты и аргиллиты легко выветриваются, часто образуют подвижные осыпи на скло-

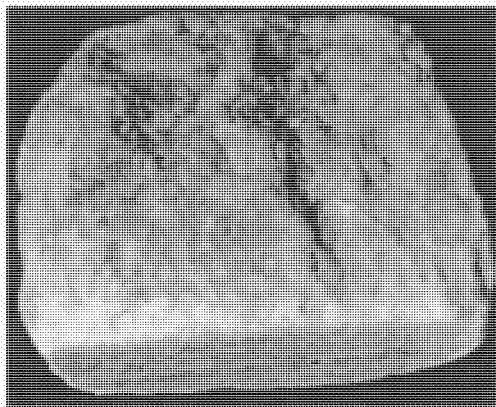
нах. Вместе с этим массивные разности алевролитов по своей прочности иногда приближаются к крепким песчаникам, а иногда и превосходят их.

Большое различие в показателях физико-механических свойств определяется широким диапазоном в изменении состава пород, их структуре, текстуре, характере цементационных связей, степени выветрелости. Описываемые породы практически всегда неморозостойкие, не выдерживают механического пережатия и размягчения, а также резких температурных колебаний и возникающих в связи с этим напряжений. Породы выветриваются исключительно быстро, чему способствует слоистая текстура, которая иногда еще усугубляется наличием слюдистых включений. Многие образцы, поднятые из скважин на поверхность, рассыпаются в труху, размокают в воде в течение первых суток, а при резких сменах температуры окружающего воздуха и еще быстрее — «на глазах» — в течение нескольких часов. Установлено также, что глинистые алевролиты по сравнению с песчаными обладают меньшей плотностью и соответственно большей пористостью. Наличие алевролитов и аргиллитов как слабых прослоев в массивах (слоистых толщах) терригенных пород существенно осложняет общую инженерно-геологическую обстановку, затрудняет проведение инженерных изысканий, требует длительного изучения слоистой толщи, в общем, отрицательно сказывается на инженерно-геологической их оценке в качестве оснований промышленно-гражданских и других сооружений.

Хемогенные породы образуются в результате выпадения из водных растворов химических осадков; процесс протекает в водах морей, континентальных усыхающих бассейнов, мелководных лагунах, заливах, соленых источниках и т. д. К этим породам относятся различные известняки, известковый туф, доломит, ангидрит, гипс, каменную соль и др. Общей для пород особенностью является их растворимость в воде, трещиноватость. Наиболее же распространенными хемогенными породами являются все-таки известняки, которые по своему происхождению могут быть также обломочными, органогенными.

Органогенные (био-хемогенные) породы образуются в результате накопления и преобразования остатков животного мира и растений, отличаются значительной пористостью, многие растворяются в воде, обладают большой сжимаемостью. К органогенным породам относятся известняк-ракушечник (рис. 27), диатомит и др.

Кремнистые породы химического и биохимического происхождения встречаются и описаны среди самых разновозрастных отложений. В составе мезозойских и частично палеозойских кремнистых пород преобладает такой минерал, как халцедон, а кайнозойские



Р и с. 27. Органогенная осадочная порода — известняк-ракушечник

породы сложены в основном опалом. Приведенная общая минералогическая характеристика является отличительной чертой кремнистых пород данного генезиса.

Морские кремнистые породы довольно широко распространены в земной коре. В инженерно-геологической практике наиболее хорошо изучены опоки, особенно мелового и палеоген-неогенового периодов. Они встречаются в Среднем и Нижнем Поволжье, на восточном склоне Урала, в западной части Западно-Сибирской низменности и ряде других районов.

Опоки сложены тонкозернистым опалом, содержание которого достигает 85—90 %. Обычно в опоках почти отсутствуют частицы свыше 0,1 мм, а частиц, которые меньше этой величины, содержится более 70—80 %. Рядом промежуточных типов опоки связаны с глинистыми и песчаными породами.

Типичные опоки имеют желто-серый и светло-серый цвет, для плотных окремнелых разностей характерна более темная (темно-серая) окраска. Практически во всех разностях опок обнаруживается раковистый излом.

Общими инженерно-геологическими особенностями опок являются: 1) высокая пористость; 2) большая влагоемкость; 3) сравнительно высокая прочность в сухом и значительное ее падение при водонасыщении; 4) слабая морозоустойчивость.

Характерной чертой опок является именно их чрезвычайно слабая морозоустойчивость. Уже после 2—4 циклов попеременного замораживания и оттаивания образцы разрушаются. Это может быть объяснено лишь большой влагоемкостью опок (до 50—70 %). Кроме того, нужно отметить, что хотя поры в опоках открытые и сообщаются друг с другом, водопроницаемость опок

ничтожна (возникающий в опоках естественного сложения коэффициент фильтрации, равный 5 м/сут, связан исключительно с трещиноватостью пород массива).

Диатомиты и трепелы — также кремнистые породы. Инженерно-геологически они, как и опоки, изучены слабо, так как практически не используются в качестве оснований сооружений, хотя широко применяются в промышленности строительных материалов и других отраслях производства.

Карбонатные осадочные породы распространены довольно широко. Они встречаются практически в составе всех стратиграфических систем, например среди нижнепалеозойских отложений Сибирской платформы, в среднем и верхнем палеозое Русской платформы, в мезозое Крыма, Кавказа и Средней Азии. Инженерно-геологическому изучению карбонатных пород уделяется большое внимание не только потому, что они часто используются в качестве оснований и среды для многих сооружений, но и в связи с их способностью к карстованию. Детальное изучение закарстованных массивов проводится при промышленно-гражданском, дорожном, гидротехническом и энергетическом строительстве (включая подземные сооружения), а также при разработке месторождений полезных ископаемых.

Среди карбонатных пород наиболее широко распространены *известняки* и *доломиты*, значительно реже встречается *мел*, хотя местами он образует значительные залежи. Помимо чистых разновидностей указанных пород описано большое число «смешанных» типов: различных *мергелей*, *известковых песчаников* и т. д.

Известняки, как правило, образуются в морских условиях и в зависимости от примесей (глинистых, битуминозных и др.), их структуры и текстуры обладают значительно различающимися свойствами.

Наиболее прочными являются массивные мелкозернистые перекристаллизованные окварцованные известняки. Сопротивление их сжатию в воздушно-сухом состоянии 100—240 МПа. В некоторых случаях после испытаний на морозостойкость прочность их значительно снижается и не превышает 70 МПа, что, главным образом, объясняется их микротрещиноватостью, существенно нарушающей внутреннюю структуру породы.

В различных стратиграфических системах отмечено широкое распространение битуминозных известняков. Обычно это микро- и мелкозернистые образования, хотя описаны и среднезернистые разновидности.

Прочность битуминозных известняков в воздушно-сухом состоянии составляет 75—90 МПа, при водонасыщении эта величина

на практически не снижается. Аналогичная картина постоянства прочности отмечается и при испытании на морозостойкость.

Кристаллические известняки разнообразны по структуре: от мелкозернистых до крупнозернистых и даже брекчиевидных. Наиболее прочными, при оценке известняков по структуре, являются мелкозернистые разности (их временное сопротивление сжатию достигает 100 МПа). Прочность крупнозернистых известняков колеблется в большом диапазоне значений (75—25 МПа) и зависит как от структуры породы, так и от ее микротрещиноватости, которая имеет литогенетическое и тектоническое происхождение. Немалую отрицательную роль здесь играют микротрещины выветривания.

У брекчиевидных кристаллических известняков среднее значение предела прочности на сжатие редко превышает 25—30 МПа. Еще менее прочны известняки-ракушечники: их сопротивление сжатию редко превышает 2—3 МПа, а во многих случаях менее 1 МПа.

Наличие кремнистого материала сказывается положительно на прочностных и других характеристиках известняков, в то время как примесь глинистого материала (за исключением водопроницаемости) может играть отрицательную роль.

Прочность массивов, сложенных карбонатными породами, в основном определяется их трещиноватостью различного происхождения. Кроме тектонической трещиноватости, трещин первичной отдельности, по долинам рек массивы часто нарушены трещинами отседания. В отсевиных блоках породы разбиты на отдельные глыбы густой сетью трещин.

Характер и интенсивность выветривания известняков во многом зависят от их структурных и текстурных особенностей. Наиболее стойкими к выветриванию являются массивные мелкозернистые окремневшие или окварцованные известняки, особенно же легко выветриваются плитчатые и рассланцованные разности. Аналогичная зависимость прослеживается и в процессе карстования известняков.

Доломиты наряду с известняками являются широко распространенными породами карбонатного комплекса. Обычно это мелко- или среднекристаллические породы, гораздо реже встречаются крупнозернистые и брекчиевидные разности. Довольно часто доломиты содержат повышенное количество кальцита, а в отдельных случаях отмечена примесь глинистого материала. Доломиты обычно имеют высокие показатели физико-механических свойств.

Основным фактором, определяющим физико-механические свойства доломитов, является их микротрещиноватость, но нема-

ловажную роль в формировании свойств играет и состав доломитов. Так, известковые доломиты имеют прочность на сжатие 80 МПа, а глинистые — около 60 МПа, тогда как чистые разновидности пород без примесей всегда показывают прочность намного больше, чем 100 МПа.

Прочность доломитов естественным образом тесно связана с генезисом и со структурой породы.

Наиболее прочными являются перекристаллизованные и брекчиевидные разности ($R_{сж} \leq 110$ МПа), затем пелитоморфные хомогенные и обломочные ($R_{сж} \leq 17...30$ МПа), органогенные и мелоподобные разности ($R_{сж} = 3...12$ МПа).

При фильтрации через доломиты сульфатных вод образуется вторичный кальцит, выщелачивание которого зачастую приводит к образованию *доломитовой муки*. Доломитовая мука залегает в виде линз или относительно выдержанных прослоев среди пермских и каменноугольных отложений и подробно изучена в Поволжье (район Самарской Луки). Доломитовая мука состоит в основном из доломита (87—99 %) и кальцита (13—1 %), размеры частиц которых в своей основной массе составляют 0,01—0,25 мм. В некоторых разностях содержание частиц размером 0,05—0,01 мм достигает 88 %. Часто присутствуют крупные частицы размером 5—7 мм. Естественная пористость породы очень высокая — до 33—54 %. Доломитовая мука не пластична. Отдельные ее «участки» слабоцементированы вторичным кальцитом. Главные физико-механические свойства доломитовой муки во многом сходны со свойствами тонкозернистых песчаных грунтов. Водопроницаемость же доломитовой муки очень мала. Это, по-видимому, является одной из главных причин оплывания ее в фильтрующих откосах и бортах карьеров, а также возникающей в ее толще механической суффозии, особенно когда слабоуплотненная доломитовая мука выполняет открытые сообщающиеся трещины.

Одной из очень интересных карбонатных пород является *мергель*. Это известково-глинистая порода, у которой глинистые частицы цементированы карбонатным материалом. Распределение глинистого и карбонатного вещества в мергеле чаще всего равномерное. Мергель и мергелистые породы встречаются в отложениях всех стратиграфических систем. Обычно под мергелем понимают такую породу, у которой содержание CaCO_3 колеблется в пределах 25—30 %. При большем содержании CaCO_3 порода получает название мергелистый известняк, а при меньшем — глинистый мергель. Эти типы пород связывают мергель, с одной стороны, с известняками, а с другой — с глинами. Мергели характеризуются различными свойствами, которые должны учиты-

ваться в конкретной обстановке (на участке исследований для проектирования и строительства основания сооружения).

Мергель способен набухать благодаря содержащемуся в нем глинистому веществу, при этом все мелкие трещины, по которым возможна циркуляция воды, закрываются и тем самым прекращается фильтрация воды сквозь мергелистые толщи. Набухание мергелей, равно как и другие их инженерно-геологические свойства, зависят главным образом от соотношения в породе карбонатной и глинистой составляющих.

Физико-механические свойства мергелей в связи с содержанием карбонатов и степени их дисперсности определяются в очень широком диапазоне изменения. На природных склонах и откосах искусственных выемок мергели быстро выветриваются, разрушаются, формируя весьма подвижные плитчатые осыпи.

Немаловажной особенностью мергелей, обусловленной уникальностью их состава (карбонаты + глина), является (практически без дополнительного обогащения) возможность использования их в качестве природного сырья для производства цемента. Так, мергели карбонатного флиша Цемесской бухты Черного моря служат сырьем для знаменитых новороссийских цементных заводов.

Своеобразной породой карбонатного состава является *белый писчий мел*. Кроме мела описано значительное число мелоподобных пород. Мел и мелоподобные породы встречаются в России редко, преимущественно в бассейне Дона и в Нижнем Поволжье и приурочены к отложениям верхнемелового возраста.

Мел является органо-хемогенной породой, сформировавшейся в особых условиях, когда одновременно с наличием известковых остатков организмов шло выделение из воды неорганического кальцита. Однородность мела весьма высока, а содержание кальцита всегда больше 90 % (92—97 %).

В сухом состоянии мел представляет собой плотную породу, в водонасыщенном обладает довольно мягкой консистенцией и растягивается руками до отдельных мельчайших частиц. Общий состав частиц: размером 0,05—0,005 мм — 80 % (трехсуточное отстаивание суспензии мела давало полное оседание и при этом жидкость в стеклянном цилиндре над осадком была совершенно прозрачной); 0,001—0,005 мм — не более 3 %; крупнее 0,05 мм — 15 %, причем преобладают частицы, имеющие размер 0,05—0,1 мм; более 1 мм — нет.

Мел имеет значительную пористость и трещиноватость. При отсутствии трещин водопроницаемость меловых толщ очень мала, при наличии трещин пористость от 30—32 % до 52—54 % — наименьшей пористостью обладают образцы с повышенным содержанием терригенного материала.

Прочность мела изменяется в значительных пределах в зависимости от его состава, пористости и влажности. Благодаря слабой цементации и большой влагоемкости мел имеет очень низкую морозоустойчивость. При инженерно-геологической оценке массивов, сложенных писчим мелом, необходимо детально изучать текстуру породы, ее консистенцию, а также возможность механической суффозии по трещинам.

Писчий мел и мелоподобные породы обладают значительной водоудерживающей способностью, а также не выдерживают перемятия, особенно во влажном состоянии, что затрудняет проходимость транспорта во вскрытых в мелах строительных котлованах и карьерах по добыче писчего мела — важного полезного ископаемого, используемого в промышленности строительных материалов.

Сульфатные галюидные породы образуют самостоятельные крупные тела преимущественно в районах передовых прогибов. В других же образованиях они присутствуют в виде линз, прослоев, цемента в доломитовых толщах или в лагунно-континентальных терригенных отложениях.

Гипс, как типичный представитель сульфатных отложений, часто встречается вместе с ангидритом. Ангидрит (CaSO_4) в соприкосновении с водой легко гидратируется и переходит в гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Этот переход сопровождается значительным увеличением объема, с которым, в свою очередь, часто связаны деформации гипсовых толщ и соответственно они сказываются и на расположенных на этих отложениях основаниях сооружений. Деформации проявляются не только в самой породе, но и сказываются на соседних породах и проявляются в кровле слоистой толщи. Это обстоятельство следует учитывать при назначении программы инженерно-геологических изысканий. Чаще всего в инженерно-строительной практике приходится оценивать и изучать не отдельные пласты сульфатов, а их включения и линзы, встречающиеся среди доломитов, морских глин и других пород. При этом большое значение имеет правильная оценка процессов выщелачивания, которые не только существуют, но и могут возникнуть в породах в процессе эксплуатации инженерного сооружения.

Попутно заметим, что растворимость гипса 2—7 г/л, что само по себе уже требует значительного внимания к возможным процессам химической суффозии и карста, и вызывает необходимость тщательных гидрогеологических исследований гипсовых толщ.

Некоторые разности *ангидритов*, особенно мелкокристаллические, характеризуются высокими показателями прочности. Прочность сульфатных пород слабо изучена и требует тща-

тельного специального исследования для каждого конкретного случая использования их в строительной практике. Гипсы и ангидриты являются ценными полезными ископаемыми.

Среди галоидных солей, встречающихся в природе в виде горных пород, наибольшее распространение имеет *каменная соль*, практически нацело выполненная галитом (NaCl). Достаточно известны также *сильвин* (KCl), *сильвинит* ($\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$) и *карналлит* ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Выпадение галоидов из перенасыщенных растворов происходит в обстановке либо замкнутых континентальных озер и реликтовых морей-озер, либо в обстановке морских краевых лагун, имеющих затрудненную связь с открытым морем.

Соляные месторождения достигают громадной мощности и часто отличаются друг от друга своеобразными признаками. Примером может служить Соликамское месторождение каменных солей, в котором при прохождении снизу вверх по разрезу отмечается следующая смена солей: каменная соль, сильвинит, карналлит. Возможность использования галоидных пород в инженерно-строительных целях весьма ограничена, так как они сильно растворимы в воде. Величина их растворимости превышает 100 г/л. Это обстоятельство играет еще более отрицательную роль в тех случаях, когда галоидные породы встречаются в виде прослоев, линз или рассеяны в других породах. Наличие растворимой составляющей в этих породах существенно снижает их инженерно-геологические характеристики.

Галоидные породы, в первую очередь, имеют колоссальное значение как очень ценные полезные ископаемые для различных отраслей химического производства.

Органогенные породы образуются в результате накопления и преобразования остатков животного мира (зоогенные) и растений (фитогенные). *Зоогенные* — известняк-ракушечник, мел и другие, а *фитогенные* — трепел, опока, торф и др. Органогенные породы отличаются значительной пористостью, например торф. К этой группе пород относят каменный уголь, нефть, асфальты и др.

Диатомит — слабосцементированная, очень пористая порода белого, светло-серого или желтовато-серого цвета, состоящая из скелетов морских и озерных диатомовых водорослей. Всегда содержит примесь глинистого материала. Общее содержание кремнезема 80—95 %.

Трепел — сходен с диатомитом, но отличается малым содержанием неизмененных органических остатков. Легкая, землистого облика порода. Состоит из опала с примесью глинистых частиц. Окраска белая, светло-серая, реже бурая, черная. Объемный вес 250—1000 кг/м³.

Диатомиты и трепелы залегают слоями и сходны по всем свойствам. Обладают огнеупорными, кислотостойкими, звуко- и теплоизоляционными свойствами, являются сырьем для производства цемента, кирпича и т. д.

Опока — твердая, реже мягкая пористая порода с содержанием до 10 % кремнистых остатков водорослей и других организмов, а также примесей глинистого материала, кварца и др. Цвет желтый, темно-серый, черный; легкая, хрупкая. Опока внешне похожа на мергель, залегают пластами.

Торф — своеобразная, геологически относительно молодая, не прошедшая стадии диагенеза, фитогенная горная порода, образующаяся в результате отмирания и разложения болотной растительности в условиях избыточного увлажнения и недостаточного доступа кислорода. По внешнему виду торф обычно представляет собой очень сильно увлажненную волокнистую (при малой степени разложения) или пластичную (при высокой степени разложения) массу. Эта масса в зависимости от содержания гумуса бывает или светло-коричневой, или почти черной. Сухое вещество торфа состоит из неразложившихся растительных остатков — растительного волокна, продуктов их разложения — гумуса и минеральных веществ — золы. Содержание минеральной составляющей — золы — не превышает, как правило, 40 %.

Лессовые породы относятся к числу очень распространенных пород, которые встречаются на всех континентах, но особенно широко в Европе, Азии и Америке. Общая площадь, занятая лессовыми породами на земном шаре, равна примерно 13 млн км². В тропических и субтропических областях Земли лессовые породы не встречаются, равно как и в северных, и южных районах, где имеют сплошное распространение вечномёрзлые породы. В границах бывшего СССР лессовые породы занимают примерно 14 % континентальной части, т. е. около 3,3 млн км². Они лежат почти сплошным покровом на большей части Украины, на юге Европейской части России, широко распространены в Средней Азии, Закавказье, Западной Сибири, слагают значительные массивы в Беларуси, Якутии и многих других районах.

Лессовые породы встречаются как на равнинах, так и в горных районах. В пределах низменных равнин они имеют почти сплошное распространение и характеризуются выраженным достаточно четко постоянством состава, окраски и строения в пределах однотипных элементов рельефа. Мощность отложений, как правило, возрастает от первых надпойменных террас к водоразделам — в поймах лессовые породы всегда отсутствуют. Для предгорных и горных районов лессовые породы имеют невыдержанное по простиранию (по площади) распространение. Лессовые

породы здесь отличаются многообразием генетических типов. В отложениях четко прослеживается проявление вертикальной зональности.

По условиям залегания лессовые породы повсеместно занимают покровное положение. Между лессовыми и подстилающими породами может наблюдаться как четко выраженная граница, так и постепенный переход.

Для лессовых пород и их толщ можно выделить следующие общие особенности:

- отсутствие слоистости практически во всех описанных случаях;
- изменение окраски от светло-палевой до шоколадной вниз по разрезу;
- наличие в лессовых породах: погребенных почв и гумусированных прослоев; прослоев песка и гравийно-галечных образований; прослоев вулканических пеллов; пустот биогенного происхождения; горизонтов конкреций карбонатов; столбчатой отдельности в верхней части толщ.

До сих пор нет единого мнения специалистов по генезису лессов: разные ученые высказывают весьма различные, часто резко противоположные точки зрения на происхождение лессов и лессовидных пород. Называют и эоловый, и морской, и аллювиальный, и пролювиальный, элювиальный (выветривание) генезис. Иногда даже связывают происхождение лессов с континентальным оледенением. Вопрос о генезисе может быть решен, по нашему мнению, только на основе комплексного изучения состава и строения лессов и их толщ с учетом такого подхода, как полигенетичность лессовых пород, когда эти породы многократно переоткладывались различными способами в разной обстановке от эоловой до морской и (или) в обратном порядке.

По гранулометрическому составу лессовые породы характеризуются значительным разнообразием. Они включают различные разности по крупности, начиная от пылеватых песков до лессовидных глин. Но для всех гранулометрических разностей отмечено наличие практически всегда пылеватых частиц, содержание которых превышает 50 % по отношению к другим фракциям. Наиболее однородными являются собственно лессы (в них содержится не более 15—16 % глинистых частиц и практически отсутствуют частицы размером более 0,25 мм).

В природных условиях лессовые породы отличаются тем, что частицы в них находятся в агрегированном состоянии. Высокая истинная дисперсность, выраженная в преимущественном преобладании пылеватых частиц, сильная агрегированность глинистых и коллоидных частиц, наличие кальцита в значительных количествах создают благоприятные условия для развития в лессовых

породах просадочных явлений, которые во многом являются своего рода отличительной чертой лессовых пород в инженерно-геологическом отношении.

Лессовые породы — это полиминеральные образования. В состав крупных фракций входит до 50 наименований минералов, из них примерно 10—15 минералов — главные породообразующие. Почти на 90 % минералы представлены так называемой легкой фракцией (плотность частиц менее $2,75 \text{ г/см}^3$), главная роль в которой отведена кварцу и полевым шпатам, затем следуют карбонаты (кальцит — в среднем 15 %), слюды, гипс и другие минералы. Тяжелая фракция (плотность частиц более $2,75 \text{ г/см}^3$) минералов насчитывает порядка 30 минералов. Для крупных фракций лессовых пород, несмотря на их полиминеральность, характерно удивительное сходство минеральных ассоциаций в разных изученных образцах, отобранных в различных, часто достаточно удаленных друг от друга районах. Это сходство минеральных ассоциаций выражается как в качественном, так и в количественном наличии и соотношении минералов. Все лессовые породы имеют примерно одинаковый состав главных породообразующих минералов, такое же сходство отмечено и во второстепенных минералах, что имеет важное значение в формировании инженерно-геологических свойств пород.

В тонкодисперсных фракциях лессовых пород встречается до 25 коллоидно-дисперсных минералов. Однако это не значит, что они присутствуют в породах все вместе, обычно они группируются по 7—12 представителей. Среди этих минералов наиболее распространенными являются гидрослюда, кварц, монтмориллонит и каолинит. Каждая гранулометрическая фракция лессов имеет достаточно постоянную минералогическую ассоциацию.

Наряду с минеральными частицами в лессах присутствует гумус (до 12 %). Больше всего гумуса содержится в прослоях погребенных почв. Нужно отметить, что повышенное содержание гумуса снижает просадочные свойства грунтов.

Одной из наиболее характерных черт лессов является их карбонатность. Наиболее типичный представитель карбонатов в лессах — кальцит.

Карбонаты содержатся в разных количествах в лессах различной географической принадлежности. Для лессов Европейской части России содержание карбонатов колеблется от 0,1 до 20%, для Западной Европы — от 0 до 35 %, для Средней Азии — от 15 до 25 %.

Прочность лессовых пород во многом обусловлена количественным содержанием карбонатов, так как высокодисперсные карбонаты способны к созданию достаточно прочных слабораст-

воримых кристаллизационных связей между отдельными частицами породы. Кроме того, наличие ионов кальция способствует агрегации глинистой и коллоидной фракций.

Установлено, что просадочность лессов очень тесно связана с содержанием водно-растворимых соединений в них: чем больше этих соединений, тем больше просадочность.

Естественная влажность лессовых пород лежит в большом диапазоне: 1—39 %, но наиболее часто этот диапазон составляет 3—25 %. Естественная влажность и просадочность связаны между собой: обычно просадочные лессы имеют низкую естественную влажность.

Лессовые породы, являющиеся полидисперсными глинисто-пылеватыми полиминеральными образованиями, характеризуются наличием сложной системы связей между составляющими их частицами. Эта система связей является определяющей в формировании всего комплекса инженерно-геологических свойств лессов.

Суммарная пористость, тесно увязанная с указанными структурными связями, обычно очень велика в лессах, ее диапазон составляет 30—64 % (чаще 44—50 %). Просадочные лессы практически всегда имеют несколько более высокие против средних значения пористости. Пористость способствует просадочности при смачивании лессов.

Важным фактором в проявлении просадочных свойств является микроструктура лессов. Например, установлено, чем ближе друг к другу располагаются песчаные и пылеватые частицы, чем меньше толщина глинистых пленок между ними, тем выше просадочность лессовых пород.

Рассматривая свойства лессовых пород, необходимо иметь в виду, что лессовые образования, являющиеся, как уже отмечалось, полидисперсными, полиминеральными образованиями с различными типами структур, формируются в результате различных генетических, диагенетических и эпигенетических процессов. Большое разнообразие факторов, действующих в условиях континентальной поверхности, неизбежно приводит к различиям лессовых пород как по составу, строению, так и по их инженерно-геологическим свойствам. Именно поэтому лессовые породы одного и того же генезиса в разной климатической обстановке могут иметь разные инженерно-геологические свойства. В районах с одинаковыми климатическими условиями различные генетические типы лессовых пород обладают неодинаковыми свойствами.

Приведем некоторые общие физические характеристики лессовых пород: плотность частиц — 2,54—2,84 г/см³, плотность — 1,33—2,03 г/см³, плотность скелета — 1,12—1,79 г/см³. Лессовые

породы обычно обладают невысокой пластичностью: число пластичности у чистых лессов меняется от 4 до 10 %, у лессовидных глин соответственно 25—30 %.

Одним из наиболее характерных признаков лессовых пород является их низкая водопрочность. Она выражается в их быстром размокании и значительной размываемости, что часто фактически определяет оврагообразование в лессовых толщах.

Водопроницаемость лессовых пород изменяется в широких пределах: коэффициент фильтрации может быть и 0,001 и 8,5 м/сут. Все зависит от конкретного состава, строения и условий залегания лессовых пород. В лессовых породах отмечена фильтрационная анизотропия, невзирая на отсутствие видимой слоистости (не имеются в виду отмеченные выше различные типичные горизонты в лессах).

Сжимаемость лессовых пород изменяется в широких пределах (модуль общей деформации в средних значениях лежит в диапазоне 2—52 МПа). Лессы и лессовидные грунты, имеющие небольшую естественную влажность, обладают незначительной сжимаемостью. Увеличение влажности, а тем более насыщение пород водой резко снижают их сопротивление сжатию.

Сопротивление сдвигу лессовых пород определяется, главным образом (не отрицая значения других факторов), их физическим состоянием: в сухом состоянии эта величина значительна, при увлажнении породы она естественным образом снижается.

Просадочность — типичное свойство лессовых пород. Она выражается в способности лессов и лессовидных пород уменьшать под нагрузкой свой объем при увлажнении, вследствие чего происходит опускание поверхности земли, называемое *просадкой*. Различают собственно просадки лессовых толщ и дополнительные осадки сооружений при замачивании пород.

Не рассматривая подробно сущность явления просадки, отметим лишь, что просадочность, как свойство, является по существу способностью лессовых пород к доуплотнению, поэтому некоторые специалисты выделяют просадки в рыхлых пылеватых песках. Весомую роль в исследовании сути просадки лессовых пород сыграл профессор Н.Я. Денисов, который создал одну из наиболее правдоподобных схем явления просадки и всех происходящих процессов, его сопровождающих.

Просадочность лессовых пород проявляется как в природной обстановке (так называемые степные блюдца — значительные в диаметре понижения на поверхности земли глубиной 0,8—1,0 м в степных районах при распространении в них лессовых, склонных к просадкам пород), так и при воздействии человека (примеров описания фактов просадок можно привести множество, но доста-

точно напомнить «Атоммаш» в Волгодонске). Назовем те бесспорные факторы, которые характеризуют явление просадки и формируют просадочность лессовых пород:

- высокая пористость и малая влажность до момента просадки;
- после просадки величина их пористости значительно уменьшается, а степень влажности (или водонасыщенности) увеличивается;
- малая гидрофильность;
- несколько повышенное содержание легководорастворимых солей, которые располагаются на контактах между частицами и придают дополнительную связность.

Кратко явление просадки можно изложить следующим образом: вода, попадая в недоуплотненную лессовую породу с большой пористостью, размягчает и частично растворяет соли на контакте между частицами, благодаря чему связи между частицами нарушаются. Частицы приобретают возможность перемещения в иные (новые) положения равновесия при данном внешнем давлении, а это как раз и вызывает изменение (уменьшение) объема породы и просадку поверхности земли над толщей этой породы.

Почвы. Собственно почвы как природные образования не являются предметом изучения инженерной геологии. Это задачи почвоведения. Но в силу того что почвы довольно часто вовлекаются в сферу строительной деятельности человека и могут служить основанием, средой или материалом для возведения сооружений, согласно инженерно-геологическим понятиям, они являются грунтами.

На наш взгляд, наилучшим является определение почв, данное основоположником мирового почвоведения В.В. Докучаевым: «Почвой следует называть «дневные» или наружные горизонты горных пород (все равно каких), естественно измененные совместным влиянием воды, воздуха и различного рода организмов, живых или мертвых». Значительный вклад в изучение почв внес великий русский ученый В.Р. Вильямс.

Гений современной науки В.И. Вернадский выполнил значительные работы в области геохимии почв как составной части биосферы и неживой природы одновременно. Им была по существу высказана мысль о том, что почвы — это переходная грань между живой и неживой природой, настолько в них все переплетено различными взаимодействиями органических и неорганических соединений, соприкосновением живого и неживого.

Своеобразие состава и энергетического состояния почвы позволяет рассматривать ее как особое природное образование, инженерно-геологические особенности которого отличны от особенностей подстилающих почву горных пород. В первую очередь

это своеобразие выражается в том, что неорганическое минеральное вещество настолько тесно связано с органическим, что удаление того или иного ведет к разрушению почвы как природного образования, как самостоятельного тела. Поэтому изучение почв в любых целях должно (и возможно) только в указанном единстве органического и неорганического. Эту главную особенность почв необходимо учитывать, когда почвы приходится использовать в качестве грунтов при строительстве аэродромов, железных дорог и других инженерных сооружений.

Мощность по отношению ко всей зоне выветривания, которую почва обычно покрывает, невелика — не более 1,5—2,0 м и очень редко 5—7 м.

При характеристике почв как грунтов в первую очередь следует учитывать некоторые общие их особенности, которые свойственны всем без исключения типам почв:

- своеобразие состава, выражающееся в высокой дисперсности как минеральной, так и органической составляющей и их глубоким взаимопроникновении и взаимовлиянии;

- четко выраженные генетические горизонты в вертикальном разрезе (профиле);

- ярко выраженная макроструктура.

Рассмотрим главные составные части почв. Минеральная составляющая в песчаной и пылевой фракциях представлена главным образом кварцем, полевыми шпатами, слюдами и иногда другими минералами, в глинистой фракции — практически всегда монтмориллонитом, бейделитом, нонтронитом, каолинином, галлуазитом, встречены вторичные образования диоксида кремния и оксидов железа. Важное значение имеют простые соли в твердом состоянии, содержание которых колеблется от долей процента до десятков процентов. Часть этих солей растворима в воде и может мигрировать по веществу почвы. Кроме простых солей в почвах выделены и сложные соединения в виде комплексных соединений. Они также могут быть растворимы в воде и мигрировать по веществу почв. Наряду с этим простые соли и другие неорганические соединения, имеющиеся в веществе почвы, также способны к перемещению по нему. Наличие простых солей, особенно в значительных количествах, оказывает влияние на такую инженерно-геологическую особенность почв, как агрессивность почв по отношению к строительным материалам. Воздействие на стройматериалы и конструкции других неорганических соединений пока описано лишь в качественном выражении.

Органическая часть почв — гумус содержится в почвах от долей процента до 20—22 % по массе. Он является сложным, относите-

льно устойчивым комплексом органических соединений, в составе которого большую роль играют специфические высокомолекулярные органические кислоты, образующиеся при разложении растительных и животных осадков в условиях недостатка кислорода в ходе сложнейших биохимических реакций. Как правило, это гуминовые и другие близкие к ним кислоты. Все эти соединения, а также часть минеральной составляющей находятся в коллоидном состоянии. Собственно гумус есть то самое проявление единства живого и неживого, органического и неорганического.

Коллоидная природа почвенного гумуса определяет его высокую обменную способность, большую гидрофильность и клеящую способность, что существенно сказывается на инженерно-геологических особенностях почв, в целом же его наличие ухудшает инженерно-геологические свойства почв и в то же время существенно увеличивает их плодородие и ценность.

Важное значение имеют состав и особенно концентрация почвенного раствора, а также состав поровых вод в нижележащих материнских породах, которые определяют состав обменных катионов в почвах.

Прочность почв очень сильно зависит от характера их микроструктуры. Испытания образцов почв показали, что $R_{сж}$ в среднем лежит в диапазоне 2—6 МПа. Макроструктура в значительной мере определяет степень водопроницаемости почв, их капиллярные «способности».

Краткая инженерно-геологическая характеристика различных типов почв:

- *тундровые* почвы обладают крайне неудовлетворительными инженерно-геологическими свойствами: не могут быть использованы в качестве естественных оснований сооружений, так как обладают ничтожной несущей способностью, при промерзании в них развивается интенсивное пучение, обладают чрезвычайно низкой водоотдачей, проявляют четко выраженные тиксотропные свойства и при динамических воздействиях переходят в плавунное состояние, имеют огромную «экологическую уязвимость», практически невозстановимы в пределах времени существования человеческого общества;

- *подзолистые* и *дерново-подзолистые* почвы в инженерно-геологическом отношении могут обладать благоприятными свойствами, но в зависимости от степени их дисперсности. «Наилучшими» в этом смысле являются почвы супесчаного и песчаного состава. В силу малого количества гумуса в этих почвах они «экологически уязвимы» с точки зрения сохранения их плодородия;

- *болотные* почвы являются крайне неудовлетворительными грунтами, «экологически уязвимы»;

- *серые лесные* почвы содержат большое количество органики, глинистых и коллоидных частиц и близки по свойствам к черноземам;

- *черноземные* почвы, или черноземы, весьма богаты гумусом (до 22%), обладают высокой влагоемкостью, набухаемостью, липкостью; в сухом состоянии держат вертикальные стенки, а при увлажнении оплывают, плохо отдают воду, труднопроходимы, легко размываются и размокают; в силу высокой степени плодородности и ценности не могут и не должны быть использованы как грунты; «экологически уязвимы»;

- *черноземовидные* почвы по инженерно-геологическим свойствам очень близки к черноземам, «экологически уязвимы»;

- *каштановые*, или *бурые*, почвы содержат меньше гумуса, чем черноземы; в составе имеют гипс и другие водорастворимые соли; в целом при размокании схожи с черноземами, но быстро отдают воду; так же как черноземы, имеют экологическую ценность;

- *сероземные* почвы характеризуются очень высоким содержанием пылеватых частиц, сильно размокают, труднопроходимы для транспорта, в бортах выемок при увлажнении оплывают, склонны к засолению при неправильном орошении, «экологически уязвимы»;

- *красноземы* обогащены гидратами оксида железа и алюминия и содержат небольшое количество гумуса. В инженерно-геологическом отношении в России большого значения не имеют в силу малого распространения, «экологически уязвимы»;

- *засоленные* почвы по инженерно-геологическим свойствам достаточно различны. Многие из них являются агрессивными грунтами по отношению к строительным материалам, в сухом состоянии обладают значительной плотностью и прочностью, но при увлажнении размокают, их коллоиды переходят в раствор, что ведет к образованию из них глубокой, очень липкой непроходимой грязи (размокший солонец подсыхает медленно), некоторые их разности практически никогда не просыхают в безморозный период; использование засоленных почв как материала для насыпей невозможно, так как они значительно снижают их прочностные и деформационные характеристики.

Искусственные грунты. В настоящее время под искусственными грунтами понимают горные породы и почвы, которые сознательно изменены человеком при решении различных инженерных задач или подверглись изменениям при производственной или другой хозяйственной деятельности людей, в том числе в виде отходов производства и потребления, т. е. нецеленаправленно.

В первом случае человек прогнозирует и создает те или иные свойства грунтов в соответствии с решаемыми задачами. Для

этого разрабатываются специальные технологии и методы, оборудование и механизмы для получения грунтов с заданными характеристиками. К числу таких «обработанных» технологий относится гидромеханизация земляных работ.

Во втором случае человека «не интересует» то, что происходит или может произойти с грунтами или другими материалами, превращающимися в грунты, а все изменения в них он совершает попутно при решении других, часто весьма далеких от инженерно-геологических проблем задач.

Инженерно-геологические свойства искусственных грунтов определяются составом материнской породы или характером поступающего в грунтовую среду материала, а также способом, длительностью, интенсивностью воздействия человека на материнскую породу или грунтовую среду с поступившим в нее материалом.

По своему петрографическому составу искусственные грунты представляют собой удивительное разнообразие, что вызвано множеством факторов их образования.

По процессам своего образования искусственные грунты могут быть подразделены на следующие виды:

- любые (все) виды грунтов — источником их накопления является горно-техническая, инженерная, сельскохозяйственная и другая деятельность человека;

- виды грунтов, образованные исключительно при горно-технической, инженерной и бытовой деятельности (кроме грунтов культурного слоя); в данном случае накопление грунтов происходит на специально отведенных сравнительно небольших по площади участках;

- отвалы и свалки грунтов, отходов производства, строительного мусора и бытовых отходов — накопление происходит, как правило, на выделенных локализованных участках, строение и характер изменчивости массивов не подчиняются никаким закономерностям;

- шлаки, золы, шламы энергетической, металлургической и химической промышленности — по составу и свойствам отдельные виды грунтов не имеют аналогов среди природных образований и могут содержать компоненты, состав и концентрация которых опасны для окружающей среды и человека; обычно концентрируются на специально отведенных участках и предусматривают технологию складирования и утилизации;

- все виды грунтов, кроме скальных, закрепленных в естественном залегании тем или иным способом или материалом, разработанным в технической мелиорации; грунты в данном случае часто находятся в нестабильном состоянии, в связи с чем их свойства

могут изменяться во времени за счет физико-химических и гравитационных процессов независимо от внешних воздействий и изменений окружающей среды;

- виды грунтов планомерно, целенаправленно образованные методами гидромеханизации или другими способами земляных работ (отсыпка, планировка участка, увлажнение, трамбование и т. д.) при создании земляных сооружений (дамб, плотин, оснований), искусственных территорий, планировке земной поверхности, складировании отходов горно-технической деятельности и производств; грунты, улучшенные в заданных пределах свойств в естественном залегании трамбованием, укаткой, осушением, взрывами, электроосмосом и другими способами технической мелиорации. Образование грунтов является управляемым, контролируемым на всех стадиях процессом. Грунты в конечном итоге должны соответствовать заранее разработанным пределам изменения состава, структуры, состояния и физико-механических свойств, а также прогнозу их изменения во времени.

В связи с тем что при проектировании и создании оснований промышленно-гражданских да и большинства других сооружений часто приходится иметь дело с искусственными грунтами, приведем некоторые характеристики их видов.

Культурный слой имеет чрезвычайно своеобразный состав, формирующийся в процессе его образования. Минералого-петрографический состав основной минеральной массы обусловлен чаще всего геологическими условиями местности, а состав включений определяется характером хозяйственно-культурной деятельности человека. В отличие от грунтов природного происхождения культурный слой всегда имеет неоднородность состава, которая незакономерна и отмечается как по вертикали, так и горизонтали. Культурный слой, как основание сооружений при огромных масштабах градостроительства, в результате урбанизации очень широко вовлекается в строительную практику. В связи со значительной неоднородностью и изменчивостью состава, строения, состояния и свойств его изучение требует чрезвычайной тщательности, и проблема строительства на нем весьма далека от завершающего решения. Культурный слой имеет большое историко-археологическое, а значит, и культурное значение. Многие проблемы, возникающие при изысканиях на свалках, отвалах строительного мусора, бытовых и производственных отходов, не изучены, однако установлено, что изменчивость и неоднородность их по составу, строению, состоянию и свойствам, как в отдельных образцах, так и в массивах, не подчиняются обычным для инженерно-геологической практики закономерностям и требуют разработки специальных методов, способов и приборов.

К *насыпным строительным грунтам* следует отнести в первую очередь грунты насыпей, автомобильных и железных дорог, плотин и дамб, кавальеров, а также широко распространяющихся в последнее время искусственных территорий и оснований. К *насыпным промышленным грунтам* относят выработанные, перемещенные и складированные горные породы, прошедшее переработку сырье горно-рудной и горно-обогадательной промышленности.

При строительстве автомобильных и железных дорог большие насыпи возводятся как из материала, получаемого из так называемых полезных («деловых») выемок, так и за счет материалов, доставляемых к месту строительства из специально закладываемых разрабатываемых карьеров или созданных резервов и кавальеров. Структура грунта в насыпях, водный и воздушный режимы будут заведомо отличаться от природного воздушного и водного режимов почв и горных пород данного района (района строительства сооружения). Даже простое перемещение грунта создает в нем необратимые изменения, поэтому можно поддерживать специалистов, считающих искусственными почвогрунты, перемещенные при сельскохозяйственных работах и даже военных действиях. Сказанное во многом относится и к грунтам плотин и дамб, а также искусственных территорий и оснований. В этих грунтах могут произойти еще более глубокие изменения, особенно при фильтрации через них воды.

Добыча каменного угля, различных руд и других полезных ископаемых связана с выемкой больших объемов горных пород, выносом их на поверхность земли (кстати, это иногда происходит и в строительном деле при проходке больших котлованов, строительстве полуподземных и подземных сооружений, тоннелей различного назначения, метрополитенов, шахт и т. п.) и последующей их различной переработкой. В результате создается совершенно особый вид насыпных грунтов — выработанная порода. К этой же группе грунтов примыкают некоторые минеральные отходы промышленного производства и транспорта, в частности шлаки, которые, полая на поверхность земной коры, становятся как бы составной ее частью. Все это в полной мере можно отнести и к отходам энергетики — золам и отходам химической промышленности — шламам, рассолам и др.

Инженерно-геологические свойства насыпных грунтов весьма разнообразны. Например, *шлаки*, у которых возникают жесткие связи при их остывании, широко используются в промышленно-строительных материалах и могут найти применение как надежные основания для инженерных сооружений.

Сложнее обстоит дело с *золами*, где структурные особенности, а главное, особенности минерального состава и степени дисперсности, а также морфологии частиц во многом затрудняют процессы консолидации толщ грунтов, и решение вопроса о возможности использования их в качестве оснований сооружений (кроме редких случаев) остается проблематичным и требует еще дополнительного изучения.

Любые отходы химического производства (сухие, влажные, жидкие), которые в процессе своего существования в местах хранения могут превратиться в грунты и использоваться в качестве оснований сооружений, должны пройти тщательную экологическую экспертизу в связи с возможным своим активным воздействием как на человека, так и геологическую среду и другие компоненты природной среды, в частности биосферу.

Намывные грунты — это, как правило, грунты в возводимых целенаправленно сооружениях методами гидромеханизации — создание намывных территорий, площадок, оснований, аэродромов, плотин и дамб, иногда гидроотвалов, золошлакоотвалов, шламохранилищ. Возведение сооружений методом гидромеханизации заведомо предусматривает создание сооружений из грунтов с заданным составом, строением, состоянием и свойствами. Зачастую возведение сооружений с помощью гидромеханизации существенно улучшает свойства грунтов и решает многие проблемы с подготовкой оснований под сооружения в части, например, таких их важнейших свойств, как прочность и сжимаемость. Большинство искусственных оснований возводится из песчаных грунтов, которые, как известно, являются вполне благоприятными для строительной практики грунтами. Тем не менее, несмотря на значительный опыт плотиностроения из намывных грунтов, в вопросах формирования их свойств еще очень много нерешенных задач.

Несколько слов об «ухудшенных» грунтах. Образование грунтов с ухудшенными против природных грунтов свойствами происходит чаще всего вследствие производства строительных работ. К грунтам этой группы можно отнести: искусственно разрыхленные, искусственно переувлажненные и искусственно «выветренные». Естественно, что грунты с такими свойствами для использования в строительной практике приходится улучшать хотя бы до их естественного состояния.

К «улучшенным» грунтам относят грунты, состав и свойства которых изменены различными методами в связи с определенными потребностями, возникающими при производстве строительных работ.

Метаморфические горные породы

Происхождение метаморфических пород. На земной поверхности одним из важнейших процессов является процесс выветривания (разрушения горных пород). Глубже располагается зона цементации. В этой зоне рыхлые породы уплотняются, цементируются. Ниже этих зон, примерно с глубины 0,8 км и далее на многие километры, располагается зона метаморфизма.

Магматические и осадочные горные породы в процессе своего существования и в результате процессов внутренней динамики Земли могут попасть в такие участки земной коры, где температура, давление и химизм среды резко отличны от условий образования этих пород. На оказавшиеся в этой зоне горные породы кроме повышенного давления и температуры сильно воздействуют активные химические соединения, циркулирующие в земной коре. В новых условиях многие минералы вступают в реакции, образуя минеральные парагенезисы. При метаморфизме интенсивно изменяются первичный состав, строение и сложение пород. В целом под *метаморфизмом горных пород* понимают существенные изменения их минерального состава, структуры и текстуры, происходящие под воздействием эндогенных процессов в земной коре с сохранением твердого состояния породы, без расплавления или растворения. Достаточно редко, в особых условиях, процессы метаморфизма сопровождаются переплавлением исходной породы с вмещающими породами или без них, и в результате образуются ультраметаморфические породы.

Изменение минералов и горных пород вызывается воздействием основных факторов метаморфизма: температуры и давления с одновременным воздействием флюидов. *Флюидами* называют жидкие или газообразные компоненты магмы или циркулирующие в глубинах Земли насыщенные газами растворы. В их составе, как предполагается, преобладают пары воды, хлора, углекислоты и многих других элементов и соединений. Воздействие флюидов наиболее эффективно в связи с их способностью просачиваться сквозь горные породы. В результате метаморфизма изверженные и осадочные горные породы изменяют характеристики своего состава, меняют свою структуру и текстуру, а вследствие этого свойства; степень же и особенности этих изменений зависят от интенсивности, характера и продолжительности метаморфических процессов.

Петрографы выделяют несколько видов метаморфизма: катакластический, термальный и динамотермальный. Указанные виды метаморфизма корреспондируют с выделенными в генетической классификации горных пород группами метаморфических пород:

регионального, контактового и динамометаморфизма, так как последние больше характеризуют общие условия протекания процесса метаморфизма, а выделенные в петрографии виды акцентируют внимание на метаморфических факторах: давлении, температуре или их совместном действии.

Катакластический метаморфизм по своему существу является дислокационным, поэтому для него часто и употребляют это название. Этот тип метаморфизма приурочен к участкам развития дизъюнктивных нарушений — дислокаций — типа сбросов и развит в их границах. Метаморфизм в данных условиях совершается при сравнительно небольших давлениях и довольно низкой температуре. Происходит дробление крепких минералов или их деформации. Эти изменения протекают и в первоначальных структуре и текстуре пород, и в результате происходит хрупкое разрушение минералов и их перемещение. Трещины в породе не возникают, происходит преобразование породы в результате пластических деформаций. Под влиянием таких деформаций возможны химические изменения пород, когда неустойчивые минералы растворяются, а устойчивые растут в определенных направлениях. Схема эта относительно и условна, так как в одних породах преобладают чисто пластические деформации, в других — это, в основном, микроразрывные деформации, в третьих — сочетание тех и других. В одних случаях возможна перекристаллизация (как в глинистых сланцах), в других она не наблюдается. Все вместе формирует самые разнообразные породы — от гранитоидов до тектонических брекчий, катаклазитов и милонитов.

При формировании *термально-метаморфизованных* пород главным фактором является температура, источник которой — магма. Под действием температуры на границах (контакте) интрузий образуются ореолы, сложенные особыми контактово-метаморфизованными породами. Мощность зоны контактовых изменений бывает различной и главным образом зависит от двух факторов: состава и состояния вмещающих пород, температуры, состава и продолжительности воздействия магмы. Так, установлено, что в глинистых и мергелистых породах она значительно больше, чем в песчаниках или кварцитах. На контактах с ультраосновными и основными интрузиями ее мощность значительно меньше, чем на контактах с интрузиями кислых пород, например гранитов. Наиболее типичными породами термального метаморфизма являются контактовые роговики, скарны, породы кремнистого состава.

Динамотермальный метаморфизм дает самое большое разнообразие пород с очень широким их распространением в земной коре. В зависимости от условий протекания процесса различают *региональный* и *локальный динамотермальный* метаморфизм. Са-

мостоятельным видом регионального динамотермального метаморфизма является *ультраметаморфизм*. В каждом из этих видов метаморфизма сложный комплекс взаимодействия температур, стресса (разрядки напряжений), давления, иногда и флюидов приводит к формированию чрезвычайно широкого спектра метаморфических пород с весьма разнообразными физико-механическими свойствами.

В глубинных зонах складчатых областей региональный метаморфизм может сопровождаться переплавлением ряда пород (ультраметаморфизм) с образованием смешанных горных пород — *мigmatитов*. Это очень сложные по структуре породы. Для многих из них характерны слойчатость, послойные и секущие складки. Большое разнообразие структур мигматитов обуславливает весьма различную их прочность, неоднородность свойств, повышенную (по сравнению с другими массивно-кристаллическими породами) выветриваемость.

Метаморфические породы по внешнему виду и условиям залегания занимают промежуточное положение между магматическими и осадочными породами. По минеральному составу они ближе к магматическим породам. Типичными минералами являются слюды, кварц, хлорит, тальк.

Метаморфическим породам в целом присуща кристаллическая структура. Наиболее характерны следующие текстуры: *сланцеватая* — однообразное расположение (параллельно друг другу) пластинчатых минералов и *полосчатая* — обособление минеральных скоплений в форме полос, в виде слоев. Для пород типа кварцита характерны *массивные* текстуры.

Форма залегания. Метаморфические породы, возникшие из глубинных магматических пород, более или менее сохраняют их первоначальную форму залегания. При метаморфизации осадочных пород слоистость сильно деформируется. При контактном метаморфизме образуются своеобразные оболочки метаморфических пород, окружающих магматические породы. Динамометаморфизм образует мощные зоны смятия, возникают сложные складки. При региональном метаморфизме измененные осадочные породы часто сохраняют первичную слоистость.

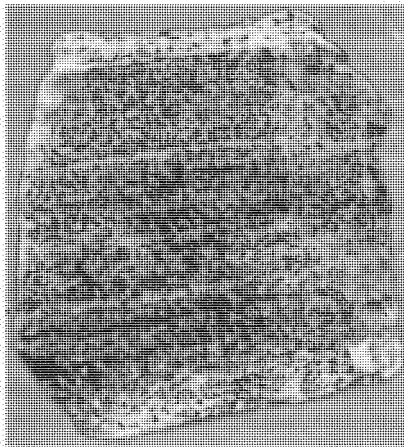
В процессе движений земной коры метаморфические породы могут быть выведены на дневную поверхность и служить объектом строительной деятельности человека. Они являются хорошим скальным основанием для зданий и сооружений. При строительстве подземных сооружений сланцеватость оказывает неблагоприятное действие, так как по плоскостям сланцеватости возможны обвалы, особенно кровли горизонтальных подземных выработок. Породы чаще всего бывают трещиноватыми. Метаморфические

породы имеют различную прочность и стойкость к выветриванию во времени. Например, если кварциты в городских условиях начинают разрушаться через 200—400 лет, то мраморы уже через 20—130 лет.

Классификация метаморфических пород основана на структурных признаках и минеральном составе. Среди них выделяют породы:

- *массивные* (зернистые) — кварцит, мрамор;
- *сланцеватые* — гнейс и кристаллические сланцы различного минерального состава (рис. 28).

Физико-механические свойства метаморфических горных пород во многом очень близки к магматическим, что обусловлено наличием у них жестких, преимущественно кристаллизационных связей. Все метаморфические породы, равно как и магматические, не будучи измененными, имеют прочность, значительно превышающую нагрузки, обычно возникающие в строительной практике. В пределах реальных воздействий, создающихся при возведении на метаморфических породах даже очень «тяжелых» сооружений, эти породы деформируются как упругие тела. Метаморфические породы практически водонепроницаемы и за исключением карбонатно-доломитовых разностей не растворяются в воде. Деформируемость и фильтрация в массивах этих пород обусловлены исключительно трещиноватостью, а также зонами, затронутыми выветриванием. Вместе с тем метаморфические породы не являются полным аналогом магматических по свойствам, а имеют достаточно большие отличия, которые, в свою очередь, диктуются генезисом. Для большинства метаморфических пород характерна анизотропность свойств, обусловленная их слоисто-



стью, сланцеватостью. Прочность на сжатие, сопротивление сдвигу, модуль упругости значительно ниже вдоль сланцеватости, чем перпендикулярно ей («вкрест» сланцеватости). Сланцеватостью определяются и значительная выветриваемость этих пород, а также пониженная устойчивость на природных склонах и в бортах искусственных выработок. Многие метаморфические породы образуют тонко-

Р и с. 28. Метаморфическая горная порода сланцеватой структуры — гнейс

плитчатые или листоватые весьма подвижные осыпи. Особенно ярко это проявляется у слабометаморфизованных пород, например у глинистых сланцев.

К породам, которые подверглись воздействию глубокого регионального метаморфизма и имеют наибольшее распространение, относятся гнейсы, кварциты, кристаллические сланцы. Несколько реже встречаются мраморы и мраморизованные известняки, обычно они приурочены к областям древней декембрийской складчатости, где слагают массивы больших размеров.

Физико-механические параметры гнейсов в зависимости от особенностей их состава, структуры и текстуры меняются в значительных пределах. При выветривании физико-механические свойства гнейсов изменяются особенно сильно. Наибольшей стойкостью обладают кварцевые гнейсы; полевошпатовые и биотитовые гнейсы выветриваются значительно интенсивнее, вплоть до того, что при испытании их на морозостойкость образцы могут распадаться на отдельные плитки. Некоторым гнейсам присуща своеобразная очковая текстура, которая, по мнению ряда специалистов, резко снижает их прочность.

Наиболее прочными и устойчивыми метаморфическими породами являются *кварциты*. Обычно они слагают отдельные массивы мощностью до 100 м и более или залегают в виде прослоев различной мощности в толще таких же высокометаморфизованных сланцев. Кварциты — это массивные породы различной зернистости, обладающие очень высокими прочностью, сопротивлением истиранию, твердостью. Их сопротивление сжатию, как правило, превышает 150—200 МПа. Пористость ничтожно мала, их водопоглощение и водонасыщение составляют 0,2—0,3 %. Наличие жестких кристаллизационных связей между слагающими минеральными зернами, кроме того, приводит к исключительно высокой морозоустойчивости и слабой выветриваемости кварцитов.

Самое большое разнообразие физико-механических свойств наблюдается у кристаллических *сланцев*. От массивных метаморфических пород их отличает слоистость, сланцеватость, кливаж. Эти особенности вызывают резкую анизотропность их свойств, позволяющую раскалываться на тонкие, часто листоватые плитки. Сланцеватость и кливаж сланцев, особенно хлорит-серицитовых и глинистых, способствуют соскальзыванию и оползанию их как на природных склонах, так и на откосах искусственных выемок. В зависимости от состава и степени метаморфизованности прочностные свойства сланцев изменяются в широких пределах: от нескольких десятков МПа у кристаллических до долей МПа у глинистых разностей.

Кристаллические сланцы биотитового, мусковитового, дву-
слюдяного, кварцево-слюдяного, амфибол-биотитового состава
имеют прочность на сжатие (в средних значениях) в направле-
нии, перпендикулярном сланцеватости, 120—160 МПа, при водо-
насыщении — до 80—110 МПа, т. е. примерно на 30 % ниже.
Слагаемые этими породами массивы являются достаточно проч-
ными с инженерно-геологической точки зрения, но, как прави-
ло, они сильно трещиноваты и поэтому сильноводопроницаемы.
Наиболее легко выветриваются среди указанных пород сланцы,
имеющие в своем составе биотит. Почти всегда в толще сланцев
формируются «карманы» выветрелых пород мощностью до не-
скольких десятков метров.

Своеобразную группу метаморфических пород образуют так
называемые «зеленые» сланцы — хлоритовые, хлорит-серицито-
вые, тальк-хлоритовые. Они сравнительно устойчивы к воздейст-
вию химического выветривания, но легко разрушаются при перио-
дическом промерзании и оттаивании. По прочности они уступают
вышеописанным сланцам ($R_{сж}$ у сухих образцов в среднем
45—60 МПа, а у водонасыщенных она снижается до 25—30 МПа,
т. е. почти вдвое). Наименее устойчивы к выветриванию глинистые
сланцы. В воздушно-сухом состоянии они обладают значительной
прочностью (20—40 МПа), но при водонасыщении довольно часто
образцы просто разваливаются. Эти породы хорошо противостоят
химическому выветриванию, а при воздействии таких факторов
физического выветривания, как «замерзание — оттаивание», легко
разрушаются, но в процессе физического выветривания на скло-
нах глинистые сланцы образуют рыхлые, подвижные, труднопро-
ходимые осыпи. Насыщение этих осыпей водой после сильных
ливней приводит к формированию в горных районах селевых
потоков.

Карбонатные метаморфические породы могут образовываться
как при региональном, так и при контактовом метаморфизме,
главным здесь является наличие среди факторов метаморфизма
значительных температур и давлений. Наиболее характерной по-
родой этой группы является *мрамор* — перекристаллизованный
известняк, в котором между кристаллическими зернами имеется
непосредственная связь. Как и у всех пород, структура и тексту-
ра мраморов диктуют их физические и механические свойства. В
средних значениях временное сопротивление их сжатию состав-
ляет около 100 МПа. Приведем некоторые примеры. Среднезер-
нистые массивные мраморы протерозойского возраста из бассей-
на р. Амур характеризуются прочностью на сжатие в среднем
115 МПа, которая после водонасыщения снижается до 80 МПа, а
после испытаний на морозостойкость падает до 70 МПа. Вместе

с тем мелкозернистые доломитизированные мраморы достигали прочности 200 МПа. Причем отдельные образцы превышали эти значения, в то же время крупнозернистые «сахаровидные» разновидности мраморов имеют прочность, не превышающую 50—60 МПа. Отличительной чертой мраморов среди метаморфических пород является их, хотя и слабая, но растворимость в воде, которая содержит углекислоту. Это определяет значительно меньшую закарстованность мраморных массивов, чем в толщах, сложенных известняками и доломитами. Мрамор довольно устойчив к «обычному», без «антропогенного дополнения», выветриванию, сохраняет крутые, вплоть до «отвесных», природные склоны.

Наиболее распространенной породой, образующейся при термальном контактовом метаморфизме, являются *роговики*. Для них характерна полная перекристаллизация исходного материала. Обычно это темные плотные породы, имеющие однородную «монотонную» структуру и мелкозернистую структуру. Чаше других встречаются кварц-биотит-полевошпатового состава породы, образовавшиеся по пелитовому материалу. С инженерно-геологической точки зрения роговики рассматриваются как весьма благоприятные основания для ответственных сооружений. Прочность их всегда значительно выше, чем у вмещающих пород, а от интрузивных пород их выгодно отличает меньшая трещиноватость и значительно большая однородность в массиве. Как известно, состав и строение пород определяют спектр изменения их физико-механических свойств. Установлено, например, что диапазон изменения прочности норильских роговиков равняется 60—150 МПа. Наиболее высокими показателями физико-механических свойств обладают тонко- и мелкозернистые разновидности, пониженные значения отмечены для неравномерно-зернистых пород с пористостью до 3,5 %. Все роговики устойчивы к выветриванию. Необходимо заметить, что на сложенных ими природных склонах формируются обвалы, курумы, крупнощебенистые осыпи.

Тектониты — породы, которые обычно не относят к классическим метаморфическим, — являются в то же время типичными представителями катакластического метаморфизма и включают в себя брекчии трения, катаклазиты, милониты. Это раздробленные, иногда перетертые породы различной степени цементации.

Брекчии трения состоят из различной величины обломков пород, как правило, необработанных, сцементированных тонкораздробленной массой тех же пород. *Катаклазиты* отличаются от брекчий трения меньшим размером обломков. Они характеризуют начальные стадии изменения пород. Катаклазиты сохраняют во многом черты исходного материала, поэтому соответственно и различают катаклазиты гранитов, катаклазиты габбро и др. В це-

лом эти породы еще сохраняют достаточно высокую прочность на раздавливание. *Милониты* характеризуются резко выраженной рассланцованностью, по существу, это микробрекчии (составные части милонитов распознаются только под микроскопом) грубо- или тонкополосчатой текстуры.

Все тектониты в условиях естественного залегания имеют достаточно высокую плотность. Это отнюдь не рыхлая рассыпающаяся масса, легко перетирающаяся руками. Но вполне очевидно, что их прочностные и деформационные характеристики должны быть хуже, чем у первичных пород — гранитов, песчаников, алевролитов, что и подтверждается испытаниями их на прочность и сжимаемость. Благодаря сланцеватой текстуре, наличию раздробленных прослоек, хлоритизации и серитизации первичных минералов, резко снижается сопротивление катаклазированных пород сдвигу.

Обычно катаклазированные породы слагают маломощные зоны, приуроченные к таким дизъюнктивным дислокациям, как сбросы, надвиги и т. п. Катаклазированные породы интенсивно выветриваются, относительно легко размываются, поставляя материал, формирующий осыпи и способствующий развитию других склоновых процессов.

В общем случае тектониты можно рассматривать как ослабленные зоны скальных массивов и таким образом подходить к их оценке в качестве оснований сооружений. Так, глинистые тектонические брекчии являются слабыми породами и из оснований ответственных сооружений удаляются.

Технические каменные материалы

Происхождение этих материалов связано с технической деятельностью человека, в частности со строительным производством. Они в известной мере являются аналогами природных горных пород. Эти материалы изучает *техническая петрография*, которая является специальной отраслью классической геологической петрографии.

К техническим каменным материалам относятся керамические изделия: бетон, абразивы, стекла, различные огнеупоры (шамот, диас и др.), различные шлаки, цементы и др. (табл. 7). Большинство из них занимает важное место в строительстве и связано с производственной деятельностью инженеров-строителей. Главными задачами инженеров в исследовании технических камней является изучение их минерального состава и структур, знание химических, физических и физико-химических характеристик отдельных минералов, входящих в различные технические

каменные материалы. Все это нужно использовать для установления свойств технических материалов и поисков новых материалов, необходимых для дальнейшего развития строительного производства.

Таблица 7

Некоторые технические каменные материалы

Группа материалов	Материал	Основной минеральный состав	Структура
Вяжущие вещества	Портландцемент	Алит, белит, примесь периклаза и свободной извести	Кристаллическая, зернистая
	Глиноземистый цемент	Моноалюминат кальция, пятикальциевый трехалюминат, примесь гелинита, перовскита и др.	Пегматитовая
Шлаки	Металлургические (доменные)	Окерманит, гелинит, частично аморфное стекло	Мелкозернистая
	Зольные	Аморфное стекло, муллит, магнетит, анортит	Пористая рыхлая
Керамика	Фарфор	Аморфное стекло, примесь муллита	Стекловатая микропористая
Абразивы	Нормальный электрокорунд	Корунд, гексаалюминат кальция, муллит, анортит, шпинель	Зернистая
Огнеупоры	Динас	Тридимит, аморфное стекло, примесь кристобалита, кварца и псевдоволластонита	Брекчиевидная
	Шамот	Муллит, аморфное стекло из кремнезема	Зернистая
	Магнезиальный огнеупор	Периклаз, частично монтичеллит	Брекчиевидная
	Доломитовый огнеупор	Периклаз, частично алит, белит, браунмеллерит	Зернистая, слабопористая
	Корундовый огнеупор	Корунд, муллит, аморфное стекло	Брекчиевидная

Происхождение искусственных технических камней (материалов).

По характеру процессов образования они во многом аналогичны природным процессам (генезису), в которых формируются минералы и горные породы. Так, шамот, фарфор, динас, керамика и цементный клинкер образуются примерно в таких же условиях, как метаморфические породы; доменные шлаки, глиноземистый цемент, различные стекла, абразивный корунд формируются как излившиеся (эффузивные) магматические породы, а бетон и сили-

катный кирпич — как цементированные породы осадочного происхождения.

Химический состав. В большинстве случаев вышеперечисленные искусственные технические камни являются силикатными, что сближает их с магматическими и метаморфическими породами. В их составе присутствуют: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , BaO , MnO , PbO , SO_3 . За исключением корундовых и магнезитовых материалов, резко отличающихся по химическому составу, в остальных технических камнях, так же как и в магматических породах, преобладают кремнезем или кремнезем с оксидом алюминия. В составе всех технических материалов отсутствует вода (за исключением бетона), отличительной чертой является совершенно необычное сочетание химических элементов, которое в горных породах не наблюдается. Например, шамот состоит из SiO_2 и Al_2O_3 , а другие оксиды присутствуют в минимальном количестве. Доменные шлаки представляют собой сложный материал, состоящий из CaO , Al_2O_3 , SiO_2 .

Минеральный состав технических камней весьма своеобразен. С одной стороны, они содержат природные минералы (кварц, корунд, полевые шпаты, оливин), а с другой — группу искусственных минералов, которые в горных породах не встречаются (алит, белит, целит, муллит и др.). Минеральный состав и структуры некоторых технических материалов показаны в табл. 7.

Структура. Качество искусственных технических камней во многом зависит от их разнообразной структуры (см. табл. 7). Все они в известной мере аналогичны структурам горных пород, но имеют и свои определенные особенности. Большинство технических камней обладают кристаллической (зернистой) структурой (цемент, абразивы, некоторые огнеупоры и др.), встречается пегматитовая структура (глиноземистый цемент), многие огнеупорные материалы имеют брекчиевидную структуру. Шлакам больше всего свойственна пористая и рыхлая структура, а в отдельных случаях, например в фарфоре, она бывает стекловатая.

В технических камнях, даже в кристаллических структурах, почти всегда в том или ином количестве присутствует аморфное стекло. Например, шамотный огнеупор имеет зернистую структуру, но кристаллы муллита погружены в аморфную алюмосиликатную массу. На свойства технических камней существенное влияние оказывают количественное взаимоотношение кристаллов и аморфной массы, а также их взаиморазмещение.

Петрургия. В области искусственных каменных материалов создана новая область технологии — петрургия, или каменное литье. С помощью петрургии получают различные изделия, в том числе и строительные, путем плавления и последующей кристал-

лизации расплавленного базальта. В настоящее время чтобы получить литье разного цвета, улучшенного состава, структуры и свойств, переплавление проводят при наличии самых разнообразных добавок, в качестве которых используют доломит, кварцевый песок, другие природные минералы и горные породы.

В результате переплавления получают каменно-литейные изделия заданной формы, с высоким качеством по твердости, прочности и стойкости в агрессивных средах. Необходимо отметить, что изделия кислотоупорны, имеют большое сопротивление истиранию, даже более высокое, чем у некоторых легированных сталей.

Каменное литье широко применяют в строительстве (трубы, облицовочные плитки) и на химических предприятиях (керамика, металлокерамика).

Радиоактивность технических материалов связана с присутствием в них материалов с природными или искусственно созданными радиоактивными химическими элементами. Природные радиоактивные минералы в технические материалы попадают с сырьем, из которых они изготавливаются, например, это может быть радиоактивный щебень гранита или промышленные отходы. Повышенную радиоактивность могут иметь бетоны, полученные на основе золы-уноса, шлакобетон, красная керамика.

В настоящее время все природные и искусственные строительные материалы и сырье, подобные продукты промышленности, используемые в строительстве, обязательно исследуются на наличие в них радиоактивных излучений. Согласно существующим нормативам определяется степень их пригодности в строительном производстве.

Г л а в а 4

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХРОНОЛОГИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Историю и общие закономерности развития и образования земной коры изучает специальная наука — *историческая геология*. Для восстановления истории развития земной коры используют геологические «документы» в виде толщ пород, которые характером своих напластований, остатками ископаемых организмов свидетельствуют об этапах развития земной коры.

Установление возраста горных пород необходимо для оценки их свойств и определения положения среди других пород. Вся

геологическая документация, в частности геологические карты и разрезы, требует применения показателей возраста пород. Различают абсолютный и относительный возраст горных пород.

Абсолютный возраст — это продолжительность существования («жизни») породы, выраженная в годах. Для его определения применяют методы, основанные на использовании процессов радиоактивных превращений, которые имеют место в некоторых химических элементах (уран, калий, рубидий и др.), входящих в состав пород. С помощью одних элементов устанавливают возраст в миллионах лет, другие дают возможность вычислить более короткие отрезки времени. Так, зная, какое количество свинца образуется из 1 г урана в год, определяя их совместное содержание в данном минерале, можно найти абсолютный возраст минерала и той горной породы, в которой он находится. Это позволяет определять возраст в миллионах лет. По углероду ^{14}C , период полураспада которого равен 5568 лет, можно устанавливать возраст более молодых образований. Абсолютные значения возраста горных пород приведены в геохронологической шкале (табл. 8).

Таблица 8

Шкала геологического времени Земли

Эон (эонотема)	Эра (эратема)	Период (система)	Индекс периода	Типичные организмы	Абсолютный возраст, млн лет
Неохрон (фанерозой)	Кайнозой- ская KZ	Четвертичный	Q	Человек, млеко- питающие, цвет- ковые растения	90—95
		Неогеновый Палеогеновый	N P		
	Мезозой- ская MZ	Меловой	K	Головоногие, моллюски, прес- мыкающиеся	550—570
		Юрский	J		
		Триасовый	T		
	Палеозой- ская PZ	Пермский	P	Амфибии и споровые	600—620
		Каменноугольный Девонский	C D	Рыбы, плечено- гие	400—410
		Силурийский Ордовикский Кембрийский	S O Є	Первые беспоз- воночные	>1500
Палеохрон (криптозой)	PR AR	—	—	—	—
Планетарная стадия земли					

Относительный возраст позволяет определять возраст пород относительно друг друга, т. е. устанавливать, какие породы древ-

нее, какие моложе. Для установления относительного возраста используют два метода: стратиграфический и палеонтологический.

Стратиграфический метод применяют для толщ, с ненарушенным горизонтальным залеганием слоев. При этом считают, что нижележащие слои (породы) являются более древними, чем вышележащие. Из рис. 29, а видно, что самым молодым является верхний слой 3, самым древним — нижний 1. Этот метод не используют при залегании слоев в виде складок. На рис. 29, б показан выход на склон рельефа слоев, смятых в складки. Видно, что более древние слои (1 и 2) лежат на более молодом слое 3.

Палеонтологический метод позволяет определять возраст осадочных пород по отношению друг к другу независимо от характера залегания слоев и сопоставлять возраст пород, залегающих на различных участках. В основу метода положена история развития органической жизни на Земле. Животные и растительные организмы развивались постепенно, последовательно. Остатки вымерших организмов захоронялись в тех осадках, которые накапливались в тот отрезок времени, когда они жили.

Зная последовательность и период жизни вымерших организмов, по их остаткам можно определить относительный возраст слоев осадочных пород (рис. 30).

Шкала геологического времени Земли. Все геологическое время разделили на отрезки. Так была создана геохронологическая шка-

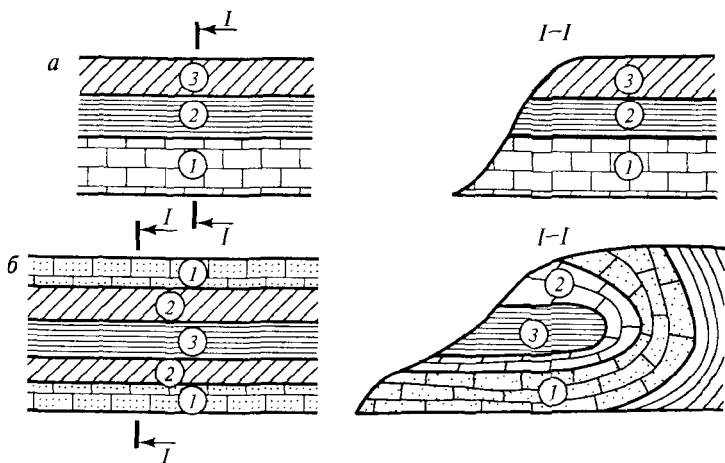
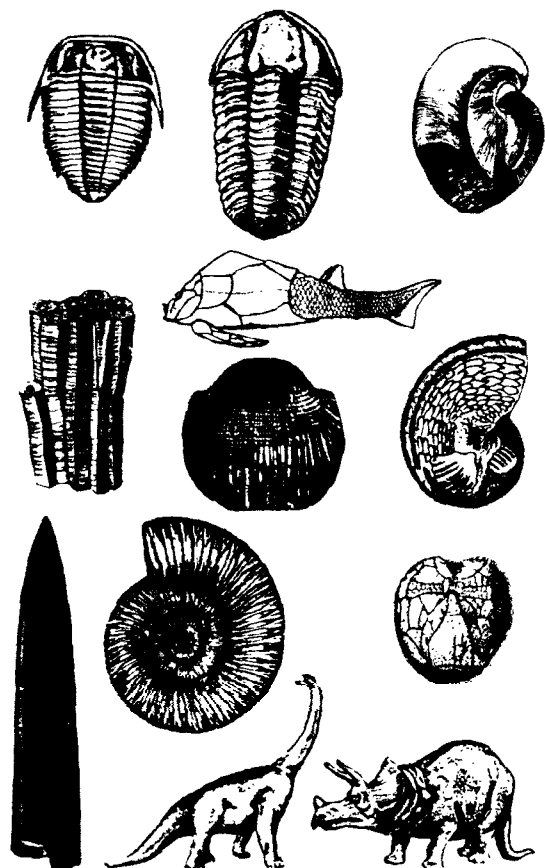


Рис. 29. Формы залегания слоев осадочных пород:
а — горизонтальное (вид на стенку шурфа); б — складчатое



Р и с. 30. Некоторые ископаемые живые организмы

ла. Для слоев пород, которые образовались в эти отрезки времени, были предложены свои названия, что позволило создать стратиграфическую шкалу (табл. 9).

Таблица 9

Стратиграфическая шкала

Геохронологическая шкала времени	Стратиграфическая шкала слоев пород
Эон	Эонотема
Эра	Эратема (групп)
Период	Система
Эпоха	Отдел
Век	Ярус

Палеогеографическая и палеоклиматическая обстановка в истории Земли

Эра	Период	Эпоха	Время (млн лет)	Палеогеография и палеоклимат
Кайнозой- ская («эра но- вой жизни»)	Четвер- тичный	Голоцен	0,01	В течение всего голоцена материка занимали практически те же места, что и в наши дни, климат также был похож на современный, каждые несколько тысячелетий становясь то теплее, то холоднее. Сегодня мы переживаем один из периодов потепления. По мере уменьшения ледниковых покровов уровень моря медленно поднимается
		Плейсто- цен	2	Это была эпоха великого оледенения с чередованием периодов похолодания и потепления и колебаниями уровня моря. Эта ледниковая эпоха длится и по сей день
	Неоге- новый	Плиоцен	5	Материки почти достигли их нынешнего положения. Громоздкие ледниковые покровы распространились в Северном полушарии, так же как и в Антарктиде и на юге Южной Америки. Климат стал прохладнее, чем в миоцене
		Миоцен	25	Африка столкнулась с Европой и Азией, образовав Альпы. Индостан врезался в Азию, «выдавив» кверху Гималаи. По мере наползания других материковых плит друг на друга начали формироваться также Скалистые горы и Анды. Ледниковый покров в Южном полушарии распространился на всю Антарктиду, что привело к дальнейшему охлаждению климата
	Палео- геновый	Оligocen	38	Индостан пересек экватор, а Австралия наконец-то отделилась от Антарктиды. Климат стал прохладнее, над Южным полюсом образовался огромный ледниковый покров, что привело к понижению уровня моря
		Эоцен	55	Индостан приблизился к Азии, Антарктида и Австралия в начале эпохи еще располагались рядом, но в дальнейшем начали отодвигаться. Северная Америка и Европа также разделились, при этом возникли новые горные цепи. Море затопило часть суши. Климат повсеместно был теплым
		Палеоцен	65	Южные материки продолжали раскалываться. Южная Америка была полностью отрезана от внешнего мира. Африка, Индостан и Австралия еще дальше отодвинулись друг от друга, причем Австралия оставалась рядом с Антарктидой. Обнажились новые участки суши, уровень моря понизился

Эра	Период	Время (млн лет)	Палеогеография и палеоклимат
Мезозойская («эра средней жизни»)	Меловой	144	С удалением материков друг от друга Атлантический океан, разделяющий Южную Америку и Африку, становился все шире. Африка, Индостан и Австралия, все еще расположенные южнее экватора, начали отодвигаться в разные стороны. Море затопило обширные участки суши. Останки твердолопых планктонных организмов образовали на океанском дне огромные толщи меловых отложений. Поначалу климат был теплым и влажным, однако затем заметно похолодало
	Юрский	213	Пангея продолжала раскалываться, и море затопило значительную часть суши. Происходило интенсивное горообразование. В начале периода климат был повсеместно теплым и сухим, затем стал более влажным
	Триасовый	248	Пангея вновь начала раскалываться на Гондвану и Лавразию, начал образовываться Атлантический океан. Уровень моря по всему миру был очень низок. Климат, почти повсеместно теплый, постепенно становился более сухим, и во внутриматериковых областях сформировались обширные пустыни. Мелкие моря и озера интенсивно испарялись, из-за чего вода в них стала очень соленой
Палеозойская («эра древней жизни»)	Пермский	286	Гондвана и Лавразия еще больше сблизилась, Индостан столкнулся с Азией, и возник титантский суперматерик Пангея. Это столкновение породило новые горные цепи. Пангея начала перемещаться к северу. Пермский период начался с оледенения, вызвавшего понижение уровня моря. По мере движения Гондваны к северу земля прогревалась, и льды постепенно растаяли. В Лавразии сделалось очень жарко и сухо, по ней распространились обширные пустыни
	Карбоновый (каменноугольный)	360	Гондвана и Лавразия постепенно сближались, при этом возникали новые горные цепи. В раннем карбоне на обширных пространствах раскинулись мелкие прибрежные моря и болота, и на большей части суши установился почти тропический климат. Громадные леса с пышной растительностью существенно повысили содержание кислорода в атмосфере. В дальнейшем похолодало, и на Земле произошло по меньшей мере два крупных оледенения

Палеозойская («эра древней жизни»)	Девонский	408	В Южном полушарии раскинулась Гондвана. В тропиках все еще формируется Лавразия. Происходит интенсивная эрозия недавно образовавшихся гор, в результате чего возникают мощные отложения красного песчаника и широкие заболоченные речные дельты. К концу периода уровень моря понизился. Климат со временем потеплел и стал более резким, с чередованием периодов ливневых дождей и сильной засухи. Обширные районы материков стали безводными
	Силурийский	438	Гондвана налavinулась на Южный полюс. Океан Япетус уменьшался в размерах, а массивы суши, образующие Северную Америку и Гренландию, сближались. В результате они столкнулись, образовав гигантский суперматерик Лавразию. Это был период бурной вулканической активности и интенсивного горообразования. Начался он с эпохи оледенения. Когда льды растаяли, уровень моря повысился и климат стал мягче
	Ордовикский	500	Гондвана по-прежнему находится в Южном полушарии, а остальные материки — в районе экватора. Европа и Северная Америка постепенно отодвигались друг от друга, а океан Япетус расширялся. На протяжении периода массивы суши смещались все дальше и дальше к югу. Старые ледниковые покровы кембрия растаяли, и уровень моря повысился. Большая часть суши была сосредоточена в теплых широтах. В конце периода началось новое оледенение
	Кембрийский	570	Поперек экватора распростерся суперматерик Гондвана. Наряду с ним было еще четыре материка меньших размеров, соответствовавших нынешним Европе, Сибири, Китаю и Северной Америке. В мелких тропических водах формируются обширные строматолитовые рифы. На суше происходила интенсивная эрозия, большое количество осадков смывалось в моря. Содержание кислорода в атмосфере постепенно повышалось. Ближе к концу периода началось оледенение, приведшее к понижению уровня моря
Протерозойская («эра пред- жизни», архей- ская эра)	Докембрий	4600	Земная кора и атмосфера все еще формируются. В течение докембрия древнейшие горные породы подвергались складкообразованию, сливигам, метаморфизму и эрозии. В раннем докембрии Земля была еще очень горячей. С тех пор она постепенно охлаждается. Первая известная нам эпоха оледенения имела место около 2,3 млрд лет назад, позднее в докембрии было еще два оледенения. Величайшее оледенение в истории планеты произошло между 1 млрд и 600 млн лет назад

Самый длительный отрезок времени — *эон*. Толщу, образованную за это время из слоев пород, называют *зоотемой*. Самый короткий отрезок — *век*. Толщу, образующуюся в течение века, называют *ярусом*. Каждый отрезок времени получил наименование и обозначение в виде индекса (табл. 8), а на геологических картах — свою окраску. Так, современный период называют четвертичным, его индекс — Q ; на геологических картах для его обозначения принят серо-зеленый цвет. Самый древний период — кембрийский.

Периоды делят на *эпохи (отделы)*, например, триасовый период подразделяют на нижнюю (T_1), среднюю (T_2) и верхнюю (T_3) эпохи. Каждую эпоху разделяют на *века (ярусы)*, например K^{dat} , что читается как меловой период, верхняя эпоха, датский век. Верхний индекс дает наименование века. Современный четвертичный период имеет деление на эпохи, обозначенные римскими цифрами — Q_I , Q_{II} , Q_{III} и Q_{IV} . Кроме того, перед индексом Q ставят знаки, обозначающие генезис (происхождение) пород, например, aQ_{III} — породы аллювиального (речного) происхождения, eoQ_{II} — эолового (ветрового) генезиса, mQ_I — морского происхождения и т. д.

В табл. 10 показаны палеогеографическая и палеоклиматическая обстановка в истории Земли в целом и в пределах каждого отрезка времени.

Возраст горных пород в виде индексов широко используется в геологической документации (карты и разрезы), которая является неотъемлемой частью проектирования зданий и сооружений.

Г л а в а 5

ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Строение земной коры, геологические структуры, закономерности их расположения и развития изучает раздел геологии — *геотектоника*. Рассмотрение движений земной коры в данной главе является представлением внутриплитной тектоники. Движения земной коры, вызывающие изменение залегания геологических тел, называют тектоническими движениями.

КРАТКИЙ ОЧЕРК СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ ТЕКТониКИ ПЛИТ

В начале XX в. проф. Альфред Вегенер выдвинул гипотезу, которая послужила началом разработки принципиально новой геологической теории, описывающей формирование континентов и океанов на Земле. В настоящее время мобилистская теория тектоники плит наиболее точно описывает структуру верхних геосфер Земли, ее развитие и возникающие при этом геологические процессы и явления.

Простая и наглядная гипотеза А. Вегенера заключается в том, что в начале мезозоя, около 200 млн лет назад, все существующие ныне материки были сгруппированы в единый суперконтинент, названный А. Вегенером Пангеей. Пангея состояла из двух крупных частей: северной — Лавразии, включавшей в себя Европу, Азию (без Индостана), Северную Америку, и южной — Гондваны, включавшей Южную Америку, Африку, Антарктиду, Австралию, Индостан. Эти две части Пангеи были почти разделены глубоким заливом — впадиной океана Тетиса. Толчком к созданию гипотезы дрейфа материков послужило поразительное геометрическое сходство очертаний побережий Африки и Южной Америки, но далее гипотеза получила определенное подтверждение при палеонтологических, минералогических, геолого-структурных исследованиях. Слабым же местом в гипотезе А. Вегенера было отсутствие объяснений причин дрейфа материков, выявления сил, весьма значительных, способных перемещать континенты, эти чрезвычайно массивные геологические образования.

Голландский геофизик Ф. Венинг-Мейнес, английский геолог А. Холмс и американский геолог Д. Григс сначала предположили наличие конвективных течений в мантии, обладающих колоссальной энергией, а затем связали ее с идеями Вегенера. В середине XX в. были сделаны выдающиеся геологические и геофизические открытия: в частности, было установлено наличие глобальной системы срединно-океанических хребтов (СОХ) и рифтов; выявлено существование пластичного слоя астеносферы; открыто, что на Земле существуют линейные вытянутые пояса, в которых сосредоточено 98 % всех эпицентров землетрясений и которые окаймляют почти асейсмичные зоны, названные впоследствии литосферными плитами, а также ряд других материалов, которые в целом позволили сделать вывод, что господствовавшая к этому «фиксистская» тектоническая теория не может объяснить, в частности, выявленных палеомагнитных данных о географических положениях континентов Земли.

К началу 70-х годов XX в. американскими геологом Г. Хессом и геофизиком Р. Дитцем, на базе открытия явления спрединга (разрастания) океанского дна, показано, что за счет того, что горячее, частично расплавленное мантийное вещество, поднимаясь вдоль рифтовых трещин, должно растекаться в разные стороны от оси срединно-океанического хребта и «расталкивать» океанское дно в разные стороны, поднятое мантийное вещество заполняет рифтовую трещину и, застывая в ней, наращивает расходящиеся края океанической коры. Последующие геологические открытия подтвердили эти положения. Например, было установлено, что самый древний возраст океанической коры не превышает 150—160 млн лет (это всего лишь 1/30 возраста нашей планеты), в рифтовых трещинах залегают современные породы, а наиболее древние максимально удалены от СОХ.

В настоящее время в верхней оболочке Земли выделяют семь крупных плит: Тихоокеанскую, Евразийскую, Индо-Австралийскую, Антарктическую, Африканскую, Северо- и Южноамериканские; семь плит среднего размера, например Аравийскую, Наска, Кокос и др. В пределах крупных плит иногда выделяют самостоятельные плиты или блоки средних размеров и множество мелких. Все плиты перемещаются друг относительно друга, поэтому их границы четко маркируются зонами повышенной сейсмичности.

В целом выделяют три вида перемещения плит: раздвижение с образованием рифтов, сжатие или надвиг (подныривание) одной плиты на другую и, наконец, скольжение или сдвиг плит друг относительно друга. Все эти перемещения литосферных плит по поверхности астеносферы происходят под влиянием конвективных течений в мантии. Процесс пододвигания океанической плиты под континентальную называют субдукцией (например, Тихоокеанская «подныривает» под Евразийскую в районе Японской островной дуги), а процесс надвигания океанической на континентальную плиту — обдукцией. В древности такой процесс столкновения континентов (коллизия) привел к закрытию океана Тетис и возникновению Альпийско-Гималайского горного пояса.

Использование теоремы Эйлера по перемещению литосферных плит на поверхности геоида с привлечением данных космических и геофизических наблюдений позволило рассчитать (Дж. Минстер) скорость удаления Австралии от Антарктиды — 70 мм/год, Южной Америки от Африки — 40 мм/год; Северной Америки от Европы — 23 мм/год.

Красное море расширяется на 15 мм/год, а Индостан сталкивается с Евразией со скоростью 50 мм/год. Несмотря на то что глобальная теория тектоники плит является обоснованной и математически, и физически, многие геологические вопросы еще до конца не изучены; это, например, проблемы внутриплитной тектоники: при детальном изучении оказывается, что литосферные плиты отнюдь не абсолютно жесткие, недиформируемые и монолитные, согласно работам ряда ученых, из недр Земли поднимаются мощные потоки мантийного вещества, способного прогреть, проплавить и деформировать литосферную плиту (Дж. Вилсон). Значительный вклад в разработку наиболее современной тектонической теории внесли российские ученые В.Е. Хаин, П.И. Кропоткин, А.В. Пейве, О.Г. Сорохтин, С.А. Ушаков и др.

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ

Проведенное данное рассмотрение тектонических движений в наибольшей степени применимо к внутриплитной тектонике, с некоторыми обобщениями.

Тектонические движения в земной коре проявляются постоянно. В одних случаях они медленные, малозаметные для глаза человека (эпохи покоя), в других — в виде интенсивных бурных процессов (тектонических революций). В истории земной коры таких тектонических революций было несколько.

Подвижность земной коры в значительной степени зависит от характера ее тектонических структур. Наиболее крупными структурами являются платформы и геосинклинали. *Платформы* относятся к устойчивым, жестким, малоподвижным структурам. Им свойственны выровненные формы рельефа. Снизу они состоят из жесткого неподдающегося складчатости участка земной коры (кристаллического фундамента), над которым горизонтально залегают толща ненарушенных осадочных пород. Типичным примером древних платформ служат Русская и Сибирская. Платформам свойственны спокойные, медленные движения вертикального характера. В противоположность платформам *геосинклинали* представляют собой подвижные участки земной коры. Располагаются они между платформами и представляют собой как бы их подвижные сочленения. Для геосинклиналей характерны разнообразные тектонические движения, вулканизм, сейсмические явления. В зоне геосинклиналей происходит интенсивное накопление мощных толщ осадочных пород.

Тектонические движения земной коры можно разделить на три основных типа:

- колебательные, выражающиеся в медленных поднятиях и опусканиях отдельных участков земной коры и приводящие к образованию крупных поднятий и прогибов;

- складчатые, обуславливающие смятие горизонтальных слоев земной коры в складки;

- разрывные, приводящие к разрывам слоев и массивов горных пород.

Колебательные движения. Отдельные участки земной коры на протяжении многих столетий поднимаются, другие в это же время опускаются. Со временем поднятие сменяется опусканием, и наоборот. Колебательные движения не изменяют первоначальных условий залегания горных пород, но инженерно-геологическое их значение огромно. От них зависит положение границ между сушей и морями, обмеление и усиление размывающей деятельности рек, формирование рельефа и многое другое.

Различают следующие виды колебательных движений земной коры: 1) прошедших геологических периодов; 2) новейшие, связанные с четвертичным периодом; 3) современные.

Для инженерной геологии особый интерес представляют современные колебательные движения, вызывающие изменение высот поверхности земли в данном районе. Для надежной оценки скорости их проявления применяют геодезические работы высокой точности. Современные колебательные движения наиболее интенсивно происходят в районах геосинклиналей. Установлено, например, что за время с 1920 по 1940 гг. Донецкий бассейн поднимался относительно г. Ростова-на-Дону со скоростью 6—10 мм/год, а Среднерусская возвышенность — до 15—20 мм/год. Средние скорости современных опусканий в Азово-Кубанской впадине составляют 3—5, а в Терской впадине — 5—7 мм/год. Таким образом, годичная скорость современных колебательных движений чаще всего равна нескольким миллиметрам, а 10—20 мм/год — это очень высокая скорость. Известная предельная скорость — немногим более 30 мм/год.

В России поднимаются районы г. Курска (3,6 мм/год), остров Новая Земля, Северный Прикаспий. Ряд участков европейской территории продолжают погружаться — Москва (3,7 мм/год), Санкт-Петербург (3,6 мм/год). Опускается Восточное Предкавказье (5—7 мм/год). Многочисленны примеры колебаний земной поверхности в других странах. Много веков интенсивно опускаются районы Голландии (40—60 мм/год), Датских проливов (15—20 мм/год), Франции и Баварии (30 мм/год). Интенсивно продолжает подниматься Скандинавия (25 мм/год), только район Стокгольма за последние 50 лет поднялся на 190 мм.

За счет опускания западного побережья Африки приустьевая часть русла р. Конго опустилась и прослеживается на дне океана до глубины 2000 м на расстоянии 130 км от берега.

Современные тектонические движения земной коры изучает наука *неотектоника*. Современные колебательные движения необходимо учитывать при строительстве гидротехнических сооружений типа водохранилищ, плотин, мелиоративных систем, городов у моря. Например, опускание района Черноморского побережья приводит к интенсивному размыву берегов волнами моря и образованию крупных оползней.

Складчатые движения. Осадочные породы первоначально залегают горизонтально или почти горизонтально. Это положение сохраняется даже при колебательных движениях земной коры. Складчатые тектонические движения выводят пласты из горизонтального положения, придают им наклон или сминают в складки. Так возникают складчатые дислокации (рис. 31).

Все формы складчатых дислокаций образуются без разрыва сплошности слоев (пластов). Это их характерная особенность. Основными среди этих дислокаций являются: моноклираль, флексура, антиклиналь и синклираль.

Моноклираль является самой простой формой нарушения первоначального залегания пород и выражается в общем наклоне слоев в одну сторону (рис. 32).

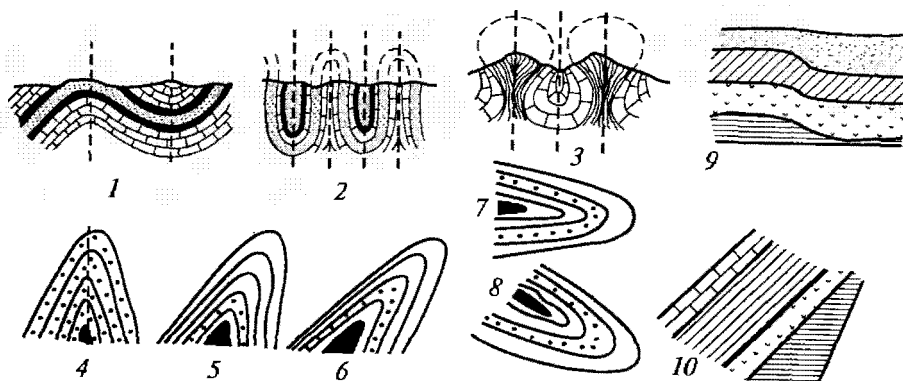
Флексура — коленоподобная складка, образующаяся при смещении одной части толщи пород относительно другой без разрыва сплошности.

Антиклиналь — складка, обращенная своей вершиной вверх (рис. 33), и *синклираль* — складка с вершиной, обращенной вниз (рис. 34, 35). Бока складок называют крыльями, вершины — замком, а внутреннюю часть — ядром.

Следует отметить, что горные породы в вершинах складок всегда бывают трещиноваты, а иногда даже раздроблены (рис. 36).

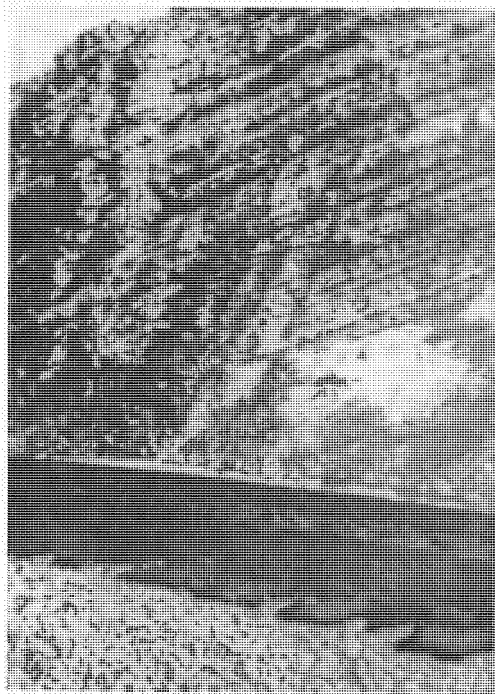
Разрывные движения. В результате интенсивных тектонических движений могут происходить разрывы сплошности пластов. Разорванные части пластов смещаются относительно друг друга. Смещение происходит по плоскости разрыва, которая проявляется в виде трещины. Величина амплитуды смещения бывает различной — от сантиметров до километров. К разрывным дислокациям относят сбросы, взбросы, горсты, грабены и надвиги (рис. 37).

Сброс образуется в результате опускания одной части толщи относительно другой (рис. 38, а). Если при разрыве происходит поднятие, то образуется взброс (рис. 38, б). Иногда на одном участке образуется несколько разрывов. В этом случае возникают ступенчатые сбросы (или взбросы) (рис. 39).

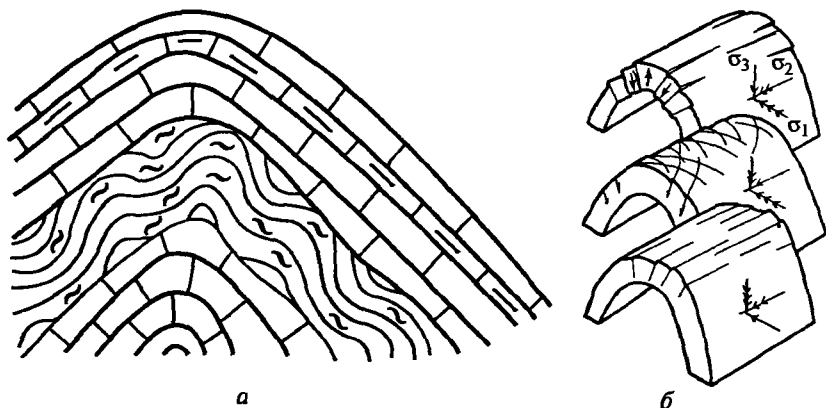


Р и с. 31. Виды складок:

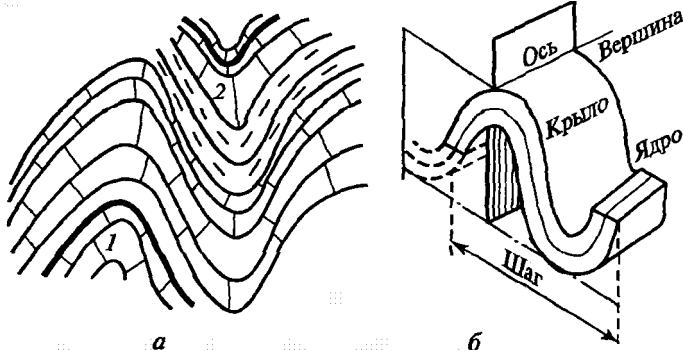
1 — полная (нормальная); 2 — изоклинная; 3 — сундучная; 4 — прямая; 5 — косая; 6 — наклонная; 7 — лежачая; 8 — опрокинутая; 9 — флексура; 10 — моноклинная



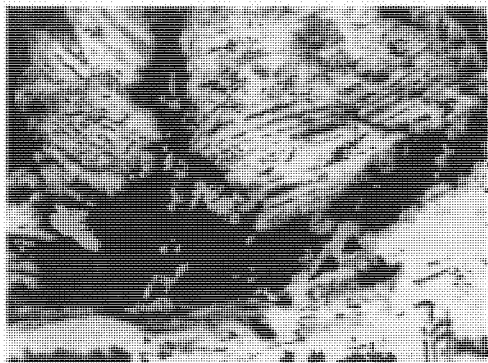
Р и с. 32. Моноклиналиное залегание слоев осадочных пород в природной обстановке



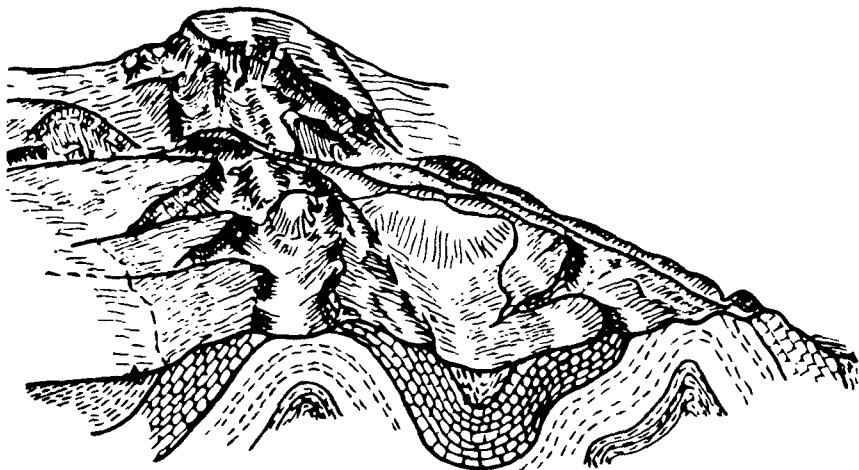
Р и с. 33. Антиклинальное залегание горных пород в природной обстановке (а); кинематическая схема формирования трещин в антиклинальной складке (б) (по М. Васичу)



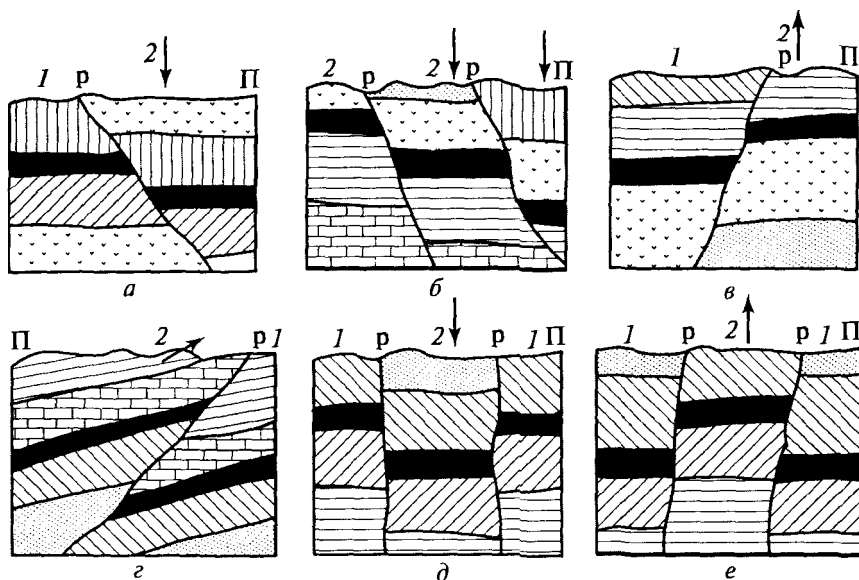
Р и с. 34. Полная складка (а) и элементы складки (б):
1 — антиклиналь; 2 — синклиналь



Р и с. 35. Синклинальное залегание слоев осадочных пород в природной обстановке (в оси складки различим разлом)

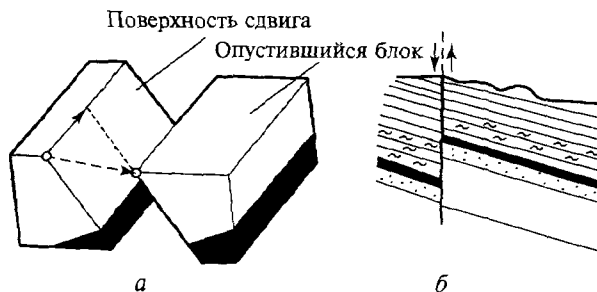


Р и с. 36. Реконструкция рельефа в складчатой области



Р и с. 37. Разрывные дислокации:

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

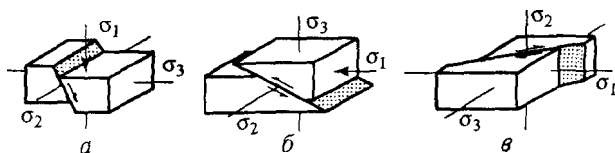


Р и с. 38. Схема сдвига слоистой толщи:

a — два переместившихся блока; *б* — профиль с характерным сдвигом пород (по М. Васичу)

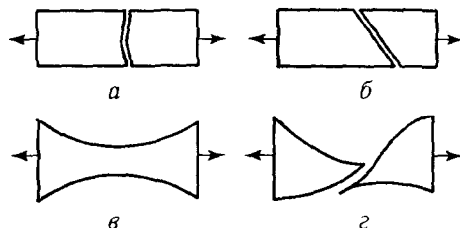


Р и с. 39. Схематический разрез Рейнского грабена и Вогезов



Р и с. 40. Схемы движения блоков горных пород при разрывных дислокациях:

a — нормальное; *б* — резонанное; *в* — горизонтальное



Р и с. 41. Разрушение твердого тела при отрыве и складывании:

a — отрыв; *б* — хрупкое скалывание; *в* — образование пережима; *г* — вязкое скалывание при растяжении («разлинование»)

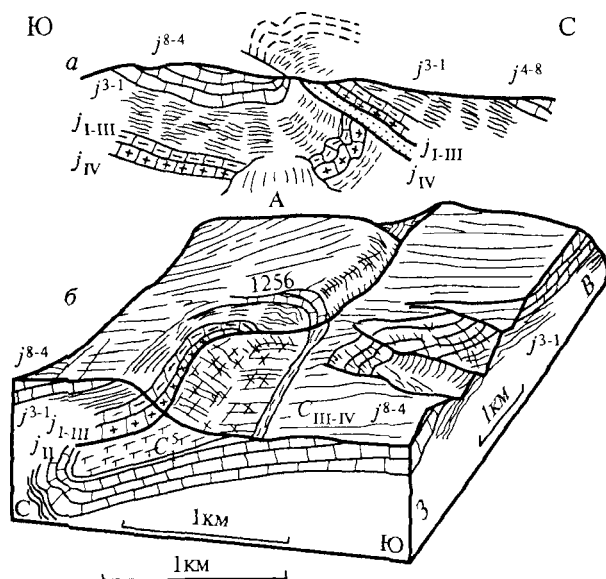
Грабен возникает, когда участок земной коры опускается между двумя крупными разрывами. Таким путем, например, образовалось озеро Байкал. Некоторые специалисты считают Байкал началом образования нового рифта.

Горст — форма, обратная грабену.

Надвиг в отличие от предыдущих форм разрывных дислокаций возникает при смещении толщ в горизонтальной или сравнительно наклонной плоскости (рис. 40). В результате надвига молодые отложения могут быть сверху перекрыты породами более древнего возраста (рис. 41, 42, 43).

Залегание пластов. При изучении инженерно-геологических условий строительных площадок необходимо устанавливать пространственное положение пластов. Определение положения слоев (пластов) в пространстве позволяет решать вопросы глубины, мощности и характера их залегания, дает возможность выбирать слои в качестве оснований сооружений, оценивать запасы подземных вод и т. д.

Значение дислокаций для инженерной геологии. Для строительных целей наиболее благоприятными условиями являются гори-



Р и с. 42. Восточное окончание надвига Одиберж (Приморские Альпы). Разрез (а) изображает строение правого берега долины Лу, расположенной непосредственно за участком, изображенным на блок-диаграмме (б); разрез ориентирован в противоположном направлении. Амплитуда надвига, соответствующая величине смещения пластов в запрокинутом крыле антиклинали, постепенно убывает с запада на восток

горизонтальное залегание слоев, большая их мощность, однородность состава. В этом случае здания и сооружения располагаются в однородной грунтовой среде, создается предпосылка для равномерной сжимаемости пластов под весом сооружения. В таких условиях сооружения получают наибольшую устойчивость (рис. 44).

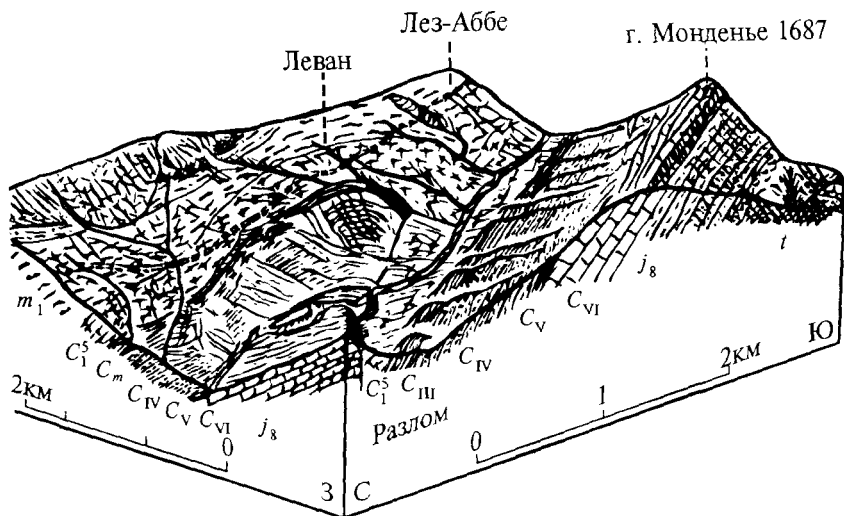


Рис. 43. Пример блок-диаграммы, ориентированной параллельно осям складок с наиболее удачной ориентировкой разрезов (цилиндрическая проекция). Разлом Леван в Нижних Альпах

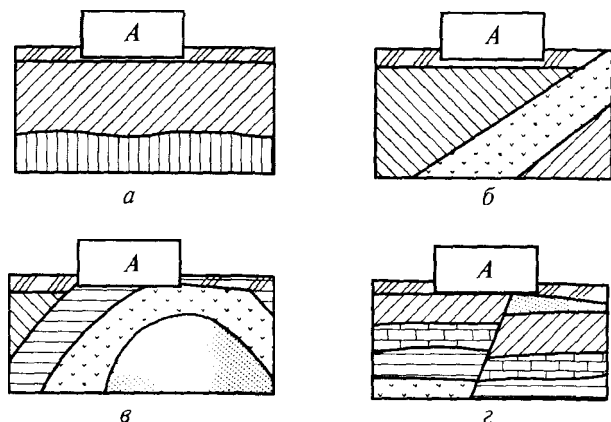


Рис. 44. Возможные варианты геологического строения строительных площадок: а, б — площадки, благоприятные для строительства; в — малоблагоприятные; г — неблагоприятные; А — сооружение (здание)

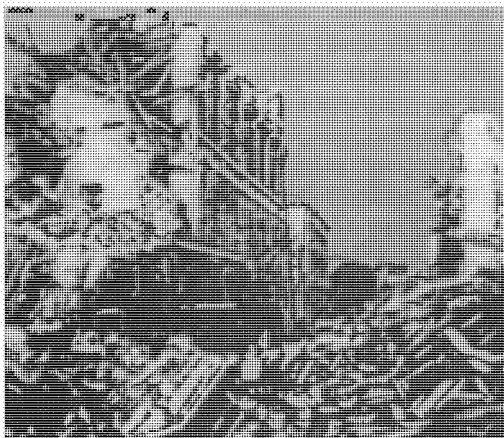
Наличие дислокаций усложняет инженерно-геологические условия строительных площадок — нарушается однородность грунтов оснований сооружений, образуются зоны дробления, снижается прочность грунтов, по трещинам разрывов периодически происходят смещения, циркулируют подземные воды. При крутом падении пластов сооружение может располагаться одновременно на различных грунтах, что иногда приводит к неравномерной сжимаемости слоев и деформации сооружений. Для зданий неблагоприятным условием является сложный характер складок. Нежелательно располагать сооружения на линиях разломов.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

Сейсмические (от греческого — сотрясение) явления проявляются в виде упругих колебаний земной коры. Это грозное явление природы типично районам геосинклиналей, где активно действуют современные горообразовательные процессы, а также зонам субдукции и обдукции.

Сотрясения сейсмического происхождения происходят почти непрерывно. Специальные приборы регистрируют в течение года более 100 тысяч землетрясений, но из них, к счастью, только около 100 приводят к разрушительным последствиям и отдельные — к катастрофам с гибелью людей, массовыми разрушениями зданий и сооружений (рис. 45).

Землетрясения возникают также в процессе извержения вулканов (в России, например, на Камчатке), возникновения провалов в связи с обрушением горных пород в крупные подземные пеще-



Р и с. 45. Разрушения в городе
в результате землетрясения

ры, узкие глубокие долины, а также в результате мощных взрывов, производимых, например, в строительных целях. Разрушительное действие таких землетрясений невелико и они имеют местное значение, а наиболее разрушительными являются тектонические сейсмические явления, захватывающие, как правило, большие площади.

История знает катастрофические землетрясения, когда погибали десятки тысяч людей и разрушались целые города или их большая часть (г. Лиссабон — 1755 г., г. Токио — 1923 г., г. Сан-Франциско — 1906 г., Чили и остров Сицилия — 1968 г.). Только в первой половине XX в. их было 3749, при этом только в Прибайкалье произошло 300 землетрясений. Наиболее разрушительные — в городах Ашхабаде (1948) и Ташкенте (1966).

Исключительное по силе катастрофическое землетрясение произошло 4 декабря 1956 г. в Монголии, зафиксированное также на территории Китая и России. Оно сопровождалось огромными разрушениями. Один из горных пиков раскололся пополам, часть горы высотой 400 м обрушилась в ущелье. Образовалась сбросовая впадина длиной до 18 км и шириной 800 м. На поверхности земли появились трещины шириной до 20 м. Главная из этих трещин протянулась до 250 км.

Наиболее катастрофическим было землетрясение 1976 г., происшедшее в г. Таншань (Китай), в результате которого погибло 250 тыс. человек в основном под обрушившимися зданиями из глины (сырцового кирпича).

Тектонические сейсмические явления возникают как на дне океанов, так и на суше. В связи с этим различают моретрясения и землетрясения.

Моретрясения возникают в глубоких океанических впадинах Тихого, реже Индийского и Атлантического океанов. Быстрые поднятия и опускания дна океанов вызывают смещение крупных масс горных пород и на поверхности океана порождают пологие волны (цунами) с расстоянием между гребнями до 150 км и очень небольшой высотой над большими глубинами океана. При подходе к берегу вместе с подъемом дна, а иногда сужением берегов в бухтах высота волн увеличивается до 15—20 м и даже 40 м.

Цунами перемещаются на расстояния в сотни и тысячи километров со скоростью 500—800 и даже более 1000 км/ч. По мере уменьшения глубины моря крутизна волн резко возрастает и они со страшной силой обрушиваются на берега, вызывая разрушения сооружений и гибель людей. При моретрясении 1896 г. в Японии были отмечены волны высотой 30 м. В результате удара о берег они разрушили 10 500 домов, погибло более 27 тыс. человек.

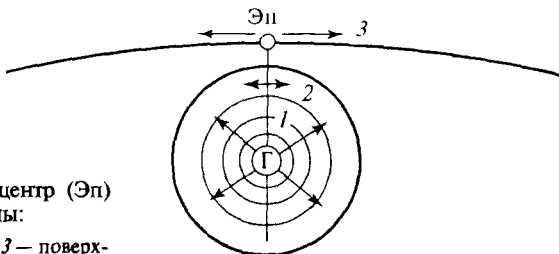
От цунами чаще всего страдают Японские, Индонезийские, Филиппинские и Гавайские острова, а также тихоокеанское побережье Южной Америки. В России это явление наблюдается на восточных берегах Камчатки и Курильских островах. Последнее катастрофическое цунами в этом районе возникло в ноябре 1952 г. в Тихом океане, в 140 км от берега. Перед приходом волны море отступило от берега на расстояние 500 м, а через 40 мин на побережье обрушилось цунами с песком, илом и различными обломками. Затем последовала вторая волна высотой до 10—15 м, которая довершила разрушение всех построек, расположенных ниже десятиметровой отметки.

Самая высокая сейсмическая волна — цунами поднялась у побережья Аляски в 1964 г.; высота ее достигла 66 м, а скорость 585 км/ч.

Частота возникновения цунами не столь велика, как у землетрясений. Так, за 200 лет на побережье Камчатки и Курильских островов их наблюдалось всего 14, из которых четыре были катастрофическими.

На побережье Тихого океана в России и других странах созданы специальные службы наблюдения, которые оповещают о приближении цунами. Это позволяет вовремя предупредить и укрыть людей от опасности. Для борьбы с цунами возводят инженерные сооружения в виде защитных насыпей, железобетонных молов, волноотбойных стенок, создают искусственные отмели. Здания размещают на высокой части рельефа.

Землетрясения. Сейсмические волны. Очаг зарождения сейсмических волн называют гипоцентром (рис. 46). По глубине залегания гипоцентра различают землетрясения: поверхностные — от 1 до 10 км глубины, коровые — 30—50 км и глубокие (или плутонические) — от 100—300 до 700 км. Последние находятся уже в мантии Земли и связаны с движениями, происходящими в глубинных зонах планеты. Такие землетрясения наблюдались на Дальнем Востоке, в Испании и Афганистане. Наиболее разрушительными являются поверхностные и коровые землетрясения.



Р и с. 46. Гипоцентр (Г), эпицентр (Эп) и сейсмические волны:

1 — продольные; 2 — поперечные; 3 — поверхностные

Непосредственно над гипоцентром на поверхности земли располагается *эпицентр*. На этом участке сотрясение поверхности происходит в первую очередь и с наибольшей силой. Анализ землетрясений показал, что в сейсмически активных районах Земли 70 % очагов сейсмических явлений располагаются до глубины 60 км, но наиболее сейсмичной все же является глубина от 30 до 60 км.

От гипоцентра во все стороны расходятся сейсмические волны, по своей природе являющиеся упругими колебаниями. Различают продольные и поперечные сейсмические волны, как упругие колебания, распространяющиеся в земле от очагов землетрясений, взрывов, ударов и других источников возбуждения. Сейсмические волны — *продольные*, или *P-волны* (лат. *primae* — первые), приходят к поверхности земли первыми, так как имеют скорость в 1,7 раза большую, чем поперечные волны; *поперечные*, или *S-волны* (лат. *secondae* — вторые), и *поверхностные*, или *L-волны* (лат. *longeg* — длинный). Длины *L-волн* больше, а скорости меньше, чем у *P-* и *S-волн*. Продольные сейсмические волны — волны сжатия и растяжения среды в направлении сейсмических лучей (во все стороны от очага землетрясения или другого источника возбуждения); поперечные сейсмические волны — волны сдвига в направлении, перпендикулярном сейсмическим лучам; поверхностные сейсмические волны — волны, распространяющиеся вдоль поверхности земли. *L-волны* подразделяют на волны Лява (поперечные колебания в горизонтальной плоскости, не имеющие вертикальной составляющей) и волны Рэлея (сложные колебания, имеющие вертикальную составляющую), названные так в честь открывших их ученых. Наибольший интерес для инженера-строителя имеют продольные и поперечные волны. Продольные волны вызывают расширение и сжатие пород в направлении их движения. Они распространяются во всех средах — твердых, жидких и газообразных. Скорость их зависит от вещества пород. Это можно видеть из примеров, приведенных в табл. 11. Поперечные колебания перпендикулярны продольным, распространяются только в твердой среде и вызывают в породах деформации сдвига. Скорость поперечных волн примерно в 1,7 раза меньше, чем продольных.

На поверхности земли от эпицентра во все стороны расходятся волны особого рода — поверхностные, являющиеся по своей природе волнами тяжести (подобно морским валам). Скорость их распространения более низкая, чем у поперечных, но они оказывают на сооружения не менее пагубное влияние.

Действие сейсмических волн или, иначе говоря, продолжительность землетрясений, обычно проявляется в течение нескольких

секунд, реже минут. Иногда наблюдаются длительные землетрясения. Например, на Камчатке в 1923 г. землетрясение продолжалось с февраля по апрель месяц (195 толчков).

Таблица 11

Скорость распространения продольных (v_p) и поперечных (v_s) волн в различных породах и в воде, км/сек

Горные породы	v_p	v_s
Скальные (граниты, гнейсы, песчаники, известняки и др.)	1,5—5,6	0,9—3,6
Полускальные (гипсы, мергели, глинистые сланцы)	1,4—3,0	0,9—1,8
Крупнообломочные (галечники, гравий и др.)	1,1—2,1	0,5—1,1
Песчаные (пески разной крупности)	0,7—1,6	0,35—0,85
Глинистые (глины, суглинки, супеси)	0,6—1,5	0,35—0,8
Насыпные грунты и почвы	0,2—0,5	0,1—0,27
Мерзлые (песчано-глинистые)	1,0—2,5	0,5—1,25
Вода	1,43—1,48	—
Лед	2,0	1,0

Оценка силы землетрясений. За землетрясениями ведут постоянные наблюдения при помощи специальных приборов — сейсмографов, которые позволяют качественно и количественно оценивать силу землетрясений.

Сейсмические шкалы (гр. *seismos*—землетрясение + лат. *scala* — лестница) используют для оценки интенсивности колебаний (сотрясений) на поверхности Земли при землетрясениях в баллах. Первую (из близких к современным) 10-балльную сейсмическую шкалу составили в 1883 г. совместно М. Росси (Италия) и Ф. Форель (Швейцария). В настоящее время большинство стран мира используют 12-балльные сейсмические шкалы: «ММ» в США (усовершенствованная шкала Меркалли—Конкани—Зиберга); Международная MSK-64 (по фамилии авторов С. Медведева, В. Шпонхойера, В. Карника, созданная в 1964 г.); Института физики Земли АН СССР и др. В Японии используется 7-балльная шкала, составленная Ф. Омори (1900) и в последующем многократно переработанная. Балльность по шкале MSK-64 (уточненной и дополненной Межведомственным советом по сейсмологии и сейсмостойкому строительству в 1973 г.) устанавливается:

- по поведению людей и предметов (от 2 до 9 баллов);
- по степени повреждения или разрушения зданий и сооружений (от 6 до 10 баллов);

• по сейсмическим деформациям и возникновению других природных процессов и явлений (от 7 до 12 баллов).

Очень известной является *шкала Рихтера*, предложенная в 1935 г. американским сейсмологом Ч.Ф. Рихтером, теоретически обоснованная совместно с Б. Гутенбергом в 1941—1945 гг. *шкала магнитуд* (M); уточненная в 1962 г. (Московско-Пражская шкала) и рекомендованная Международной ассоциацией сейсмологии и физики недр Земли в качестве стандартной. По этой шкале магнитуда любого землетрясения определяется как десятичный логарифм максимальной амплитуды сейсмической волны (выраженной в микрометрах), записанной стандартным сейсмографом на расстоянии 100 км от эпицентра. При других расстояниях от эпицентра до сейсмостанции вводится поправка к замеренной амплитуде с целью приведения ее к той, которая соответствует стандартному расстоянию. Нуль шкалы Рихтера ($M = 0$) дает очаг, при котором амплитуда сейсмической волны на расстоянии 100 км от эпицентра будет равна 1 мкм, или 0,001 мм. При увеличении амплитуды в 10 раз магнитуда возрастает на единицу. При амплитуде, меньшей 1 мкм, магнитуда имеет отрицательные значения; известные максимальные значения магнитуд $M = 8,5 \dots 9$. *Магнитуда* — расчетная величина, относительная характеристика сейсмического очага, не зависящая от места расположения записывающей станции; используется для оценки общей энергии, выделившейся в очаге (установлена функциональная зависимость между магнитудой и энергией).

Энергия, выделившаяся в очаге, может выражаться абсолютной величиной (E , Дж), величиной энергетического класса ($K = \lg E$) или условной величиной, называемой магнитудой,

$$M = \frac{K=5}{1,5} \div \frac{K=4}{1,8}. \quad \text{Магнитуда самых больших землетрясений}$$

$M = 8,5 \dots 8,6$, что соответствует выделению энергии $10^{17} \text{—} 10^{18}$ Дж или семнадцатому — восемнадцатому энергетическим классам. Интенсивность проявления землетрясений на поверхности земли (согретаемость на поверхности) определяется по шкалам сейсмической интенсивности и оценивается в условных единицах — баллах. Балльность (I) является функцией магнитуды (M), глубины очага (h) и расстояния от рассматриваемой точки до эпицентра (L):

$$I = 1,5M + 3,5 \lg \sqrt{L^2 + h^2} + 3.$$

Ниже приводятся сравнительные характеристики разных групп землетрясений (табл. 12).

Сравнительные характеристики землетрясений

Параметр землетрясений	Землетрясения		
	слабейшие	сильные частые	сильнейшие известные
Протяженность очага, км	0,003	30	1000
Площадь главной трещины, км ²	10 ⁻⁵	300	10 ⁵
Объем очага, км ³	10 ⁻⁹	1000	10 ¹⁵
Длительность процесса в очаге, с	10 ⁻³	10	10 ²
Сейсмическая энергия, Дж	10 ²	10 ¹⁵	10 ¹⁸
Класс землетрясения	2	15	18
Число землетрясений в год на Земле	10 ⁷	30	1
Преобладающий период колебаний, с	10 ⁻²	10	50
Амплитуда смещений в эпицентре, см	10 ⁻⁶	1	10 ²
Амплитуда ускорений в эпицентре, см/с ²	—	300	2 × 10 ²

Для расчетов силовых воздействий (сейсмических нагрузок), оказываемых землетрясениями на здания и сооружения, используют понятия: ускорение колебаний (a), коэффициент сейсмичности (k_c) и максимальное относительное смещение (Q).

На практике силу землетрясений измеряют в баллах. В России используется 12-балльная шкала. Каждому баллу соответствует определенное значение ускорения колебания a (мм/с²). В табл. 13 приведена современная 12-балльная шкала и дана краткая характеристика последствиям землетрясений.

Таблица 13

Сейсмические баллы и последствия землетрясений

Баллы	Последствия землетрясений
I	Колебания земли отмечаются приборами
II	В отдельных случаях ощущается людьми, находящимися в спокойном состоянии
III	Колебания земли отмечаются некоторыми людьми
IV	Землетрясение отмечается многими людьми
V	Качание висячих предметов; многие спящие просыпаются

Баллы	Последствия землетрясений
VI	Легкие повреждения в зданиях, тонкие трещины в штукатурке; трещины в сырых грунтах; небольшие изменения дебита источников и уровня воды в колодцах
VII	Трещины в штукатурке и откалывание отдельных кусков, тонкие трещины в стенах; в единичных случаях нарушения стыков трубопроводов; большое количество трещин в сырых грунтах; в отдельных случаях мутнеет вода; изменяется дебит источников и уровень грунтовых вод
VIII	Большие трещины в стенах, падение карнизов, дымовых труб; отдельные случаи разрушения стыков трубопроводов; трещины в сырых грунтах до нескольких сантиметров; вода в водоемах становится мутной; возникают новые водоемы; часто меняется дебит источников и уровень воды в колодцах
IX	В некоторых зданиях обвалы: обрушения стен, перекрытий, кровли; многочисленные разрывы и повреждения трубопроводов; трещины в сырых грунтах до 10 см; большие волнения в водоемах; часто возникают новые и пропадают существующие источники
X	Обвалы во многих зданиях. Трещины в грунтах до метра шириной
XI	Многочисленные трещины на поверхности земли; большие обвалы в горах
XII	Изменение рельефа местности в больших размерах

Сейсмические районы территории России. Вся земная поверхность разделена на зоны: сейсмические, асейсмические и пене-сейсмические. К *сейсмическим* относят районы, которые расположены в геосинклинальных областях. В *асейсмических* районах землетрясений не бывает (Русская равнина, Западная и Северная Сибирь). В *пенесейсмических* районах землетрясения происходят сравнительно редко и бывают небольшой силы.

Для территории России составлена карта распространения землетрясений с указанием баллов. К сейсмическим районам относятся Кавказ, Алтай, Забайкалье, Дальний Восток, Сахалин, Курильские острова, Камчатка. Эти районы занимают пятую часть территории, на которой располагаются крупные города. В настоящее время эта карта обновляется и в ней будут содержаться сведения о повторяемости землетрясений во времени.

Землетрясения способствуют развитию чрезвычайно опасных гравитационных процессов — оползней, обвалов, осыпей. Как правило, все землетрясения от семи баллов и выше сопровождаются этими явлениями, причем катастрофического характера. Повсеместное развитие оползней и обвалов наблюдалось, например, во время Ашхабадского землетрясения (1948), сильного землетрясения в Дагестане (1970), в долине Чхалты на Кавказе (1963), в до-

лине р. Нарын (1946), когда сейсмические колебания вывели из состояния равновесия крупные массивы выветрелых и разрушенных пород, которые располагались в верхних частях высоких склонов, что вызвало подпруживание рек и образование крупных горных озер. Существенное влияние на развитие оползня оказывают и слабые землетрясения. В этих случаях они являются как бы толчком, спусковым механизмом уже подготовленного к обрушению массива. Так, на правом склоне долины р. Актуры в Киргизии после землетрясения в октябре 1970 г. образовались три обширных оползня. Зачастую не столько сами землетрясения оказывают влияние на здания и сооружения, сколько вызванные ими оползневые и обвальные явления (Каратегинское, 1907 г., Сарезское, 1911 г., Файзабадское, 1943 г., Хаитское, 1949 г., землетрясения). Объем массы сейсмического обвала (обвал — обрушение), расположенного в сейсмоструктуре Бабха (северный склон хребта Хамар-Дабан, Восточная Сибирь), составляет около 20 млн м³. Сарезское землетрясение силой 9 баллов, происшедшее в феврале 1911 г., сбросило с правого берега р. Мургаб в месте впадения в нее Усой-Дарьи 2,2 млрд м³ горной массы, что привело к образованию плотины высотой 600—700 м, шириной 4 км, длиной 6 км и озера на высоте 3329 м над уровнем моря объемом 17—18 км³ и площадью зеркала 86,5 км², длиной 75 км, шириной до 3,4 км, глубиной 190 м. Под завалом оказалось небольшое селение, а под водой киш-лак Сарез.

В результате сейсмического воздействия при Хаитском землетрясении (Таджикистан, 10 июля 1949 г.) силой 10 баллов большое развитие получили обвальные и оползневые явления на склоне хребта Тахти, после чего сформировались земляные лавины и селевые потоки 70-метровой толщины со скоростью 30 м/с. Объем селевого потока — 140 млн м³, площадь разрушений — 1500 км².

Строительство в сейсмических районах (сейсмическое микрорайонирование). При строительных работах в районах землетрясений необходимо помнить, что баллы сейсмических карт характеризуют только некоторые усредненные грунтовые условия района и поэтому не отражают конкретных геологических особенностей той или иной строительной площадки. Эти баллы подлежат уточнению на основе конкретного изучения геологических и гидрогеологических условий строительной площадки (табл. 14). Это достигается увеличением исходных баллов, полученных по сейсмической карте, на единицу для участков, сложенных рыхлыми породами, в особенности увлажненными, и их уменьшением на единицу для участков, сложенных прочными скальными породами. Породы II категории по сейсмическим свойствам свою исходную балльность сохраняют без изменения.

Корректировка баллов сейсмических районов на основании инженерно-геологических и гидрогеологических данных

Категория пород по сейсмическим свойствам	Породы	Уточненная величина баллов при балльности районов по сейсмической карте равной		
		7	8	9
I	Скальные (граниты, гнейсы, известняки, песчаники и т.д.) и полускальные (мергель, глинистые песчаники, туфы, гипсы и др.) породы; крупнообломочные особо плотные породы при глубине залегания уровня грунтовых вод более 15 м	6	7	8
II	Глины и суглинки, находящиеся в твердом состоянии, лески и супеси при $h < 8$ м; крупнообломочные породы при $8 < h < 10$ м	7	8	9
III	Глины и суглинки, находящиеся в пластичном состоянии, пески и супеси при $h < 4$ м; крупнообломочные породы при $h < 3$ м	8	9	10

Корректировка баллов строительных участков справедлива, главным образом, для равнинных или холмистых территорий. Для горных районов необходимо принимать во внимание и другие факторы. Опасными для строительства являются участки с сильно расчлененным рельефом, берега рек, склоны оврагов и ущелий, оползневые и карстовые участки. Крайне опасны участки, расположенные вблизи тектонических разрывов. Весьма затруднительно строить при высоком залегании уровня грунтовых вод (1—3 м). Следует учитывать, что наибольшие разрушения при землетрясениях происходят на заболоченных территориях, на обводненных пылеватых, на лессовых недоуплотненных породах, которые при сейсмическом сотрясении энергично доуплотняются, разрушая выстроенные на них здания и сооружения.

При ведении инженерно-геологических изысканий в сейсмических районах требуется выполнять дополнительные работы, регламентированные соответствующим разделом СНиП 11.02—96 и СП 11.105—97.

На территориях, где сила землетрясений не превышает 7 баллов, основания зданий и сооружений проектируют без учета сейсмичности. В сейсмических районах, т. е. районах с расчетной сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов, проектирование оснований ведут в соответствии с главой специального СНиПа по проектированию зданий и сооружений в сейсмических районах.

В сейсмических районах не рекомендуется прокладывать водоводы, магистральные линии и канализационные коллекторы в водонасыщенных грунтах (кроме скальных, полускальных и крупнообломочных), в насыпных грунтах независимо от их влажности, а также на участках с тектоническими нарушениями. Если основным источником водоснабжения являются подземные воды трещиноватых и карстовых пород, дополнительным источником всегда должны служить поверхностные водоемы.

Большое практическое значение для жизни и производственной деятельности человека имеет предсказание момента начала землетрясения и его силы. В этой работе уже имеются заметные успехи, но в целом проблема прогнозирования землетрясений еще находится на стадии разработки.

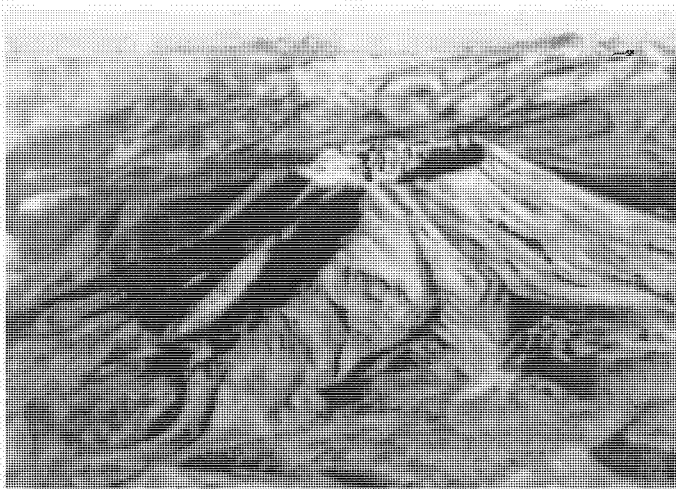
Вулканизм — это процесс прорыва магмы из глубин земной коры на поверхность земли. *Вулканы* — геологические образования в виде гор и возвышений конусовидной, овальной и других форм, возникшие в местах прорыва магмы на земную поверхность.

Вулканизм проявляется в районах субдукций и обдукций, а внутри литосферных плит — в зонах геосинклиналей. Наибольшее количество вулканов расположено вдоль побережья Азии и Америки, на островах Тихого и Индийского океанов. Вулканы имеются также на некоторых островах Атлантического океана (у побережья Америки), в Антарктиде и Африке, в Европе (Италия и Исландия). Различают вулканы действующие и потухшие. *Действующими* называют те вулканы, которые постоянно или периодически извергаются; *потухшими* — те, которые прекратили свое действие, и об их извержениях нет данных. В ряде случаев потухшие вулканы снова возобновляют свою деятельность. Так было с Везувием, неожиданное извержение которого произошло в 79 г. н. э.

На территории России вулканы известны на Камчатке и на Курильских островах (рис. 47). На Камчатке расположено 129 вулканов, из них 28 действующих. Наибольшую известность получил вулкан Ключевская сопка (высота 4850 м), извержение которого повторяется приблизительно через каждые 7—8 лет. Активно действуют вулканы Авачинский, Карымский, Безымянский. На Курильских островах насчитывают до 20 вулканов, из которых около половины действующих.

Потухшие вулканы на Кавказе — Казбек, Эльбрус, Арарат. Казбек, например, еще действовал в начале четвертичного периода. Его лавы во многих местах покрывают район Военно-Грузинской дороги.

В Сибири в пределах Витимского нагорья также обнаружены потухшие вулканы.



Р и с. 47. Вулкан Ключевская сопка

Извержения вулканов происходят по-разному. Это в большой мере зависит от типа магмы, которая извергается. Кислая и средняя магмы, будучи очень вязкими, дают извержения со взрывами, выбросом камней и пепла. Излияние магмы основного состава обычно происходит спокойно, без взрывов. На Камчатке и Курильских островах извержения вулканов начинаются с подземных толчков, далее следуют взрывы с выбросом водяных паров и излиянием раскаленной лавы.

Извержение, например, Ключевской сопки в 1944—1945 гг. сопровождалось образованием над кратером раскаленного конуса высотой до 1500 м, выбросом раскаленных газов и обломков пород. После этого произошло излияние лавы. Извержение сопровождалось землетрясением в 5 баллов. При извержении вулканов типа Везувия характерно выпадение обильных дождей за счет конденсации водяных паров. Возникают исключительные по силе и грандиозности грязевые потоки, которые, устремляясь вниз по склонам, приносят огромные разрушения и опустошения. Так же может действовать вода, образовавшаяся в результате таяния снегов на вулканических склонах кратеров; и вода озер, сформировавшихся на месте кратера.

Строительство зданий и сооружений в вулканических районах имеет определенные трудности. Землетрясения обычно не достигают разрушительной силы, но продукты, выделяемые вулканом, могут пагубно сказаться на целостности зданий и сооружений и их устойчивости.

Многие газы, выделяемые при извержениях, например сернистые, опасны для людей. Конденсация паров воды вызывает катастрофические ливни и грязевые потоки. Лава образует потоки, ширина и длина которых зависят от уклона и рельефа местности. Известны случаи, когда длина лавового потока достигала 80 км (Исландия), а мощность — 10—50 м. Скорость течения основных лав составляет 30 км/ч, кислых — 5—7 км/ч, из вулканов взлетают вулканические пеплы (пылеватые частицы), песок, лапилли (частицы 1—3 см в диаметре), бомбы (от сантиметров до нескольких метров). Все они представляют собой застывшую лаву и при извержении вулкана разлетаются на различные расстояния, засыпают поверхность земли многометровым слоем обломков, обрушивают кровли зданий.

Глава 6

РЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Наука, которая занимается изучением рельефа земной поверхности, его происхождением и развитием, называется *геоморфологией*.

Рельеф — это совокупность всех форм земной поверхности — возвышений, равнин и углублений. Эти «неровности» на поверхности Земли весьма динамичны, находятся в состоянии непрерывного изменения и превращения. В процессе этих изменений уничтожаются старые и возникают новые формы рельефа. Все это происходит в результате воздействия на земную поверхность сил, возникающих при проявлении эндогенных (внутренних) и экзогенных (внешних) процессов на Земле.

Рельеф имеет серьезное значение для перераспределения тепла и влаги, поверхностных и грунтовых вод, отложений рыхлых наносов, для передвижения воздушных масс. Рельеф играет значительную геологическую роль, например в проявлении выветривания, плоскостного смыва, эрозии и т. д. Он оказывает большое влияние на размещение, характер и устойчивость промышленных и гражданских зданий и сооружений, не говоря уже о трассировании дорог, прокладке оросительных и судоходных каналов, строительстве плотин, гидростанций и т. п. Чтобы правильно оценить влияние рельефа на строительные объекты, инженер-строитель должен знать основные положения науки о рельефе — геоморфологии.

Происхождение форм рельефа. По своему происхождению формы рельефа подразделяют в зависимости от преобладающего фактора — силы, вызвавшей образование данной формы. Прежде всего их делят на две большие группы:

- формы рельефа, обусловленные деятельностью эндогенных сил, т. е. тектоникой земной коры;
- формы рельефа, обусловленные деятельностью экзогенных сил на поверхности земли.

Первая группа форм рельефа связана с движениями земной коры (колебательными, горообразующими). Эти формы называют тектоническими.

Вторая группа связана с процессами выветривания, текучими водами, ветром, деятельностью живых организмов, в том числе и человека. Эти формы разделяют на эрозионные, например вызванные деятельностью текучих вод, и аккумулятивные, например накопление наносов в реках. Среди второй группы выделяют формы: речные (аллювиальные), ветровые (эоловые), ледниковые и т. д. В геоморфологии различают элементы и формы рельефа.

Элементы рельефа. К элементам рельефа относят поверхности, линии и точки, составляющие формы рельефа.

Поверхности образуют форму рельефа. Они могут быть горизонтальными, наклонными, выпуклыми, вогнутыми и сложными. Линии являются результатом пересечения поверхностей. Различают линии водораздельную, водосливную, подошвенную, бровку. Водораздельная линия разделяет поверхностный сток двух противоположных склонов. Водосливная является результатом пересечения двух поверхностей — склонов и проходит по дну долин, балок, оврагов и т. д. Подошвенная ограничивает основания склонов различных форм рельефа; бровка — это линия, по которой происходит резкий перегиб склона, т. е. резкая смена его крутизны.

К характерным точкам рельефа относят вершинные (наибольшая высота на данном участке местности), перевальные (дно понижений гребней хребтов), устьевые (устья рек) и донные (наиболее низкая точка понижений рельефа).

Формы рельефа. Образованы из различных сочетаний элементов рельефа. Различают две группы: *положительные* — выпуклые по отношению к плоскости горизонта, и *отрицательные* — вогнутые. Самыми крупными являются тектонические формы рельефа (горные хребты, равнины, морские понижения, т. е. все, что образует основной и постоянный облик рельефа земной поверхности). Эрозионные (речные долины, овраги и пр.) и аккумулятивные (речные террасы, дюны, барханы и т. д.) формы имеют значительно меньшие размеры и непостоянны во времени.

Особо следует отметить формы рельефа, которые получили наименование «антропогенных». Эти формы создаются в результате деятельности человека — сельскохозяйственной, горнодобывающей и строительной. В процессе строительных работ постоянно возникают и исчезают мелкие и средние формы рельефа (котловины, курганы, овраги и др.). На картах антропогенные формы обозначают условными знаками функционального назначения (канал, шахта и др.), а наиболее крупные формы, например шахтные терриконы, — горизонталями.

К положительным формам рельефа относят:

- *материк* — планетарное образование;
- *нагорье* — обширная возвышенность, состоящая из системы горных хребтов и вершин (например, Памир);
- *горный кряж* — невысокий горный хребет с пологими склонами с плоской вершиной (например, Донецкий кряж);
- *горный хребет* — вытянутая возвышенность с относительной высотой более 200 м с крутыми, нередко скалистыми склонами;
- *гора* — изолированная возвышенность с крутыми склонами; относительная высота более 200 м;
- *плоскогорье* — нагорная равнина, обширная по площади, с плоскими вершинными поверхностями, хорошо выраженными склонами;
- *плато* — приподнятая равнина, ограниченная хорошо выраженными, нередко обрывистыми склонами;
- *гряда* — узкая вытянутая возвышенность с крутизной склонов более 20° и плоскими вершинами;
- *увал* — вытянутая возвышенность значительной длины с пологими склонами и плоскими вершинными поверхностями;
- *холм* — обособленная куполообразная или коническая возвышенность с пологими склонами; относительная высота менее 200 м;
- *курган* — искусственный холм;
- *бугор* — изолированная куполообразная возвышенность с резко выраженной подошвенной линией; крутизна склонов не превышает 25°, вершины обычно плоские;
- *конус выноса* — невысокая возвышенность, располагающаяся в устье русла водотоков и имеющая вид усеченного конуса со слабо выпуклыми пологими склонами.

Отрицательными формами являются:

- *океаническая впадина* — планетарное образование;
- *котловина* — понижение значительной глубины с крутыми склонами; неглубокие понижения с пологими склонами называют *впадиной*;

- *долина* — вытянутое углубление, имеющее уклон в одном направлении, со склонами различной крутизны и формы (террасы, оползни, промоины и др.);

- *балка* — вытянутое углубление значительной длины; с трех сторон имеет пологие задернованные или покрытые растительностью склоны;

- *овраг* — вытянутое углубление с крутыми и местами отвесными обнаженными склонами; глубина и длина оврагов различны;

- *промоина* — небольшое вытянутое мелкое углубление, имеющее с трех сторон крутые, незадернованные склоны;

- *лощина, или ложбина стока* — вытянутое углубление с пологими склонами, покрытыми растительностью; глубина не превышает нескольких метров.

Размеры форм рельефа. По своим размерам формы рельефа могут быть весьма разнообразны — от нескольких сантиметров до десятков и сотен тысяч квадратных километров. Размеры форм рельефа могут существенно влиять на условия строительства, а также указывать на наличие тех или иных природных геологических явлений и инженерно-геологических процессов.

По своей величине формы рельефа делят на семь основных групп: мельчайшие, очень мелкие, мелкие, средние, крупные, крупнейшие и величайшие.

Мельчайшие формы рельефа размером до нескольких сантиметров по высоте и имеющие площадь в несколько квадратных сантиметров (песчаная рябь, борозды на полях и т. п.) обычно не имеют существенного значения для строительства. На топографические карты мельчайшие формы рельефа не наносят.

Очень мелкие формы рельефа, высота которых измеряется несколькими дециметрами, редко 1—2 м, наносят на карты крупного масштаба условными знаками. Это кочки, рывины, мелкие промоины, которые указывают на значительную активность плоскостной и струйчатой эрозии, что необходимо иметь в виду при планировке поверхности на строительных площадках.

Мелкие формы рельефа, которые называют обычно микрорельефом, занимают сравнительно небольшие участки в несколько квадратных метров, реже в несколько десятков и иногда сотен квадратных метров, высота их не более нескольких метров. Эти формы рельефа проецируют на карты масштабов 1:10 000, 1:5000 и крупнее.

Изучение микрорельефа дает богатую информацию о природной обстановке и об инженерно-геологических условиях данной строительной площадки.

Средние формы рельефа, или мезорельеф, характеризуются значительным протяжением, до нескольких десятков километров, и измеряются сотнями, тысячами, реже сотнями тысяч квадратных метров в плане, при глубине расчленения до 200 м. Положительный мезорельеф — это холмы, бугры, курганы, гребни, уступы, террасы в долинах рек и озер, гряды невысоких возвышенностей. Отрицательный — короткие и неглубокие овраги, балки, большие карстовые воронки, ложбины и т. п. Этот рельеф хорошо изображается на картах масштаба 1:50 000 и дает возможность оценить природные и инженерно-геологические условия целых поселков и микрорайонов на предварительных стадиях проектирования.

Крупные формы рельефа, или макрорельеф, характеризуются десятками, сотнями и реже тысячами квадратных километров в плане и расчленением по глубине на 200—2000 м. Такой рельеф изображается на картах 1:100 000 и 1:1 000 000. Положительные его формы — это горные хребты, отдельные горы, горные массивы и т. д., а отрицательные — большие долины, озерные впадины крупных водоемов типа Ладожского и Онежского озер. Такой рельеф помогает дать инженерно-геологическую оценку крупных территорий при планировании размещения строительных объектов.

Крупнейшие формы рельефа, или мегарельеф, занимают площади в десятки и сотни тысяч квадратных километров, причем разница в отметках между положительными и отрицательными формами может достигать 500—4000 м. Эти формы отображают на картах масштаба 1:10 000 000, к ним можно отнести, например, Приволжскую возвышенность и Бразильскую котловину.

Величайшие (планетарные) формы рельефа измеряются миллионами квадратных километров, разница в отметках уровней отрицательного и положительного достигает 2500—6500 м, а максимальная — 20 000 м.

Формы рельефа отображаются на топографических картах, масштаб которых весьма различен (от 1:2000 до 1:10 000 000), что связано с задачами, которые стоят перед строителями объектов. На картах крупные формы рельефа отражаются горизонталями, а мелкие — условными знаками.

При решении задач строительства необходимо особое внимание уделять динамике земной поверхности, т. е. оценивать существующие формы рельефа в их развитии. Следует помнить, что отдельные формы рельефа в определенные отрезки времени могут быть стабильными, т. е. находиться в состоянии динамического равновесия, но это равновесие временное и может нарушаться в силу природных воздействий или строительных работ по возведению и эксплуатации зданий и сооружений.

Типы рельефа. Формы рельефа на каждой территории встречаются в определенных сочетаниях, что придает ей своеобразный облик. Если они повторяются на местности и находятся в закономерных связях друг с другом и окружающей средой, то мы имеем не отдельные формы рельефа, а их комплексы или типы, т. е. определенные сочетания форм рельефа, закономерно повторяющихся на обширных пространствах поверхности земной коры, имеющих сходные происхождение, геологическое строение и историю развития.

Ниже рассматриваются три основных типа рельефа: равнинный, холмистый и горный.

Равнина — это тип рельефа, который отличается малыми колебаниями высот, не выходящих за пределы 200 м (рис. 48). Равнины подразделяют:

- по отношению к уровню моря — *отрицательные* (депрессии, впадины), лежащие ниже уровня моря; *низменные*, в пределах от 0 до 200 м над уровнем моря; *возвышенные* с отметками от 200 до 500 м; *нагорные*, имеющие отметки поверхности свыше 500 м;

- по общей форме поверхности — *горизонтальные*, *наклонные*, *вогнутые* и *выпуклые*;

- по глубине, степени и типу расчленения — *плоские*, *нерасчлененные* или *слаборасчлененные* (уклон 0,005%); *мелкорасчлененные* (уклон от 5 до 25 м на 2 км протяжения); *глубокорасчлененные* (уклон от 20 м до 200 м на 2 км протяженности);

- по происхождению — структурные, аккумулятивные, скульптурные.

Структурные равнины — это поверхности, обусловленные геологическим строением. Например, лава, изливаясь из вулканов, заполняет неровности рельефа, захватывает большие площади и, застывая, образует ровные поверхности, которые называют столовыми равнинами. Так, пластовые интрузии и покровы сибирских траппов образовали, например, Средне-Сибирскую столовую равнину.



Р и с. 48. Равнинный рельеф

Аккумулятивными равнинами называют пространства, образовавшиеся в результате накопления материала в море или на суше. Среди них выделяют аллювиальные, образовавшиеся в результате накопления отложений в речных потоках. Они имеют сложный микрорельеф, представленный старицами и прирусловыми валами в пойме, плесами и перекатами в русле реки, озерами и болотами. Учет этих форм рельефа позволит полнее оценить инженерно-геологическую обстановку на данной конкретной территории и выбрать более эффективные меры борьбы, например против речной эрозии.

Предгорные наклонные равнины образуются в результате аккумуляции материала конусов выноса, аллювия, пролювия, делювия, флювиогляциальных отложений. По генезису распространенных отложений предгорные равнины могут быть весьма сложными. Такое же строение и состав отложений имеют и межгорные равнины (котловины), но в них гораздо большую роль играют озерные накопления.

Кроме этих равнин выделяют еще *морские аккумулятивные равнины*, представляющие в пределах суши участки морского дна, поднявшегося над уровнем моря (Прикаспийская низменность), ледниковые моренные равнины, образовавшиеся в результате деятельности ледников; отличаются весьма сложным, холмистым рельефом (друмлины, озы, камы), сложены моренными и флювиогляциальными отложениями, кроме того, последние слагают зандровые равнины, которые напоминают обширные конуса выносов и постепенно переходят в аллювиальные равнины.

Особо следует упомянуть об *аккумулятивно-лессовых равнинах*, которые имеют широкое распространение на юге европейской части России. Они образовались за счет накопления пыли, привнесенной из пустынь, в результате чего возникли мощные толщи лесса с идеально ровной поверхностью. Для этих равнин характерны такие формы микрорельефа, как «блюдца», «западины», «просадочные трещины», свидетельствующие о наличии просадочных явлений, позволяющих в ряде случаев судить об интенсивности этого процесса.

Скульптурные равнины возникают в результате разрушения горных пород рельефообразующими агентами. В настоящее время выделяют абразионную и денудационную равнины.

Абразионная равнина образуется в результате разрушения побережья морскими волнами и представляет собой поверхность в коренных породах, прикрытую тонким слоем новейших морских осадков. *Денудационная равнина* — это участок суши с близко залегающими к поверхности или имеющими выход на дневную повер-

хность коренными породами. Такие равнины есть в Казахстане, Северной Америке, Финляндии и других местах земного шара.

Равнины — наиболее удобные территории для расселения, где человек активно занимается инженерно-строительной деятельностью.

Холмистый рельеф представляет собой поверхность земли, на которой часто чередуются возвышенности (холмы) с высотами не более 200 м и понижения в виде ложбин и котловин. Холмистый рельеф нередко занимает большие площади и представляет собой переходный тип рельефа между равнинным и горным.

Горный рельеф представляет собой крупные с относительной высотой более 200 м возвышенности (горы, хребты) и понижения (долины, впадины, котловины) (рис. 49).

По происхождению горы принято делить на тектонические, вулканические и эрозионные.

Тектонические — это такие горы, которые образуются в результате сложных тектонических нарушений земной коры (образование складок, надвигов и различного рода разломов).

Вулканические горы возникают в результате проявления вулканических процессов. Они распространены менее широко, чем тектонические, и приурочены к определенным частям земного шара. Большое количество вулканических гор поднимается над дном океанов.

Эрозионные горы образовались в результате глубокого эрозионного расчленения древних аккумулятивных равнин из-за поднятия

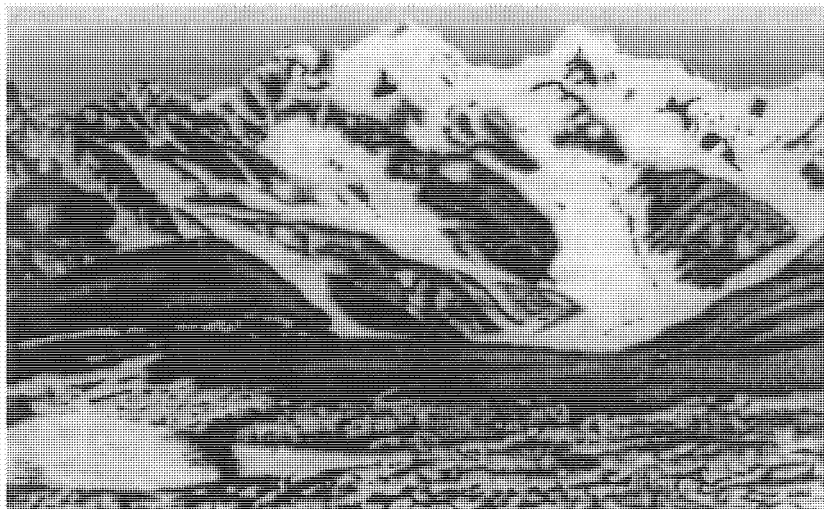


Рис. 49. Горный рельеф

их над базисом эрозии. Обычно такое поднятие сопровождается разрывными дислокациями земной коры, происходит опускание или подъем отдельных участков благодаря разломам, что сближает эрозионные горы с тектоническими глыбовыми горами.

Высота гор в значительной степени отражается в характере рельефа, поэтому при классификации гор используют еще высотный признак. По высоте горы делят на высокие, средневысотные и низкие.

Высокие горы имеют абсолютные отметки более 2000 м с относительным превышением в 1000 м на 2 км протяженности по линиям, перпендикулярным к направлению речных долин. Для этих гор характерны такие природные геологические явления, как сели, снежные лавины, обвалы.

Средневысотные горы имеют абсолютные отметки от 700 до 2000 м и глубину относительного вреза 500—700 м на 2 км протяженности. Эти горы имеют широкое распространение в Сибири и на Дальнем Востоке. Для них характерны осыпи и курумы, а в пустынях — эоловые формы выдувания.

Низкие горы имеют абсолютные отметки до 700—800 м и глубину расчленения от 150 до 450 м на 2 км протяженности, склоны обычно пологие.

Геоморфология и инженерная геология. Изложение основных представлений из геоморфологии и изучение динамики земли убеждает в том, что для правильного решения инженерно-геологических задач необходимо проводить почти полный цикл геоморфологических исследований, особенно динамики экзогенных сил. Так, в настоящее время для инженерного проектирования совершенно недостаточно обоснования выбора места для строительства объекта с точки зрения механики грунтов и общей оценки геологического строения местности. Поэтому возникает вопрос о создании новой отрасли знаний на стыке инженерной геологии и геоморфологии — инженерной геоморфологии.

Эта наука должна будет заниматься исследованием и оценкой рельефообразующих процессов и форм рельефа для поиска оптимального варианта размещения инженерно-строительных сооружений, обеспечения их рациональной и эффективной эксплуатации и защиты от разрушительных стихийных процессов.

Основной задачей инженерной геоморфологии является изучение состояния динамического равновесия рельефа, выявление степени его устойчивости и прогнозирование изменений форм его в результате строительства. Такие прогнозы необходимы не только для выбора оптимального варианта размещения объекта, но и для гарантии его безаварийной службы.

В период проектирования зданий и сооружений инженер-строитель должен четко представлять задачи, которые следует решать геоморфологически:

- определять пригодность данного рельефа как такового, так и в динамике его изменения для строительства;
- устанавливать форму и тип рельефа;
- определять происхождение рельефа в целях выяснения его устойчивости во времени;
- определять возможную скорость изменения форм рельефа на строительной территории, т. е. составлять прогноз на будущее, на период эксплуатации объекта (например, скорость размыва берега и дна реки, рост оврагов и т. д.);
- устанавливать, как динамика рельефа может повлиять на устойчивость объекта и возможности его бесперебойного функционирования.

РАЗДЕЛ II

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

В разделе рассматриваются вопросы, связанные с характеристикой грунтов и их свойствами, применительно к строительству, а также приводятся основные сведения по способам улучшения их свойств (техническая мелиорация).

Глава 7

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ГРУНТОВЕДЕНИЯ

Грунтоведение — это наука о грунтах. Понятие «грунт» до сих пор является неоднозначным, вокруг него ведется много споров, и до конца вопрос определения этого термина еще не решен.

Например, одним таким определением является следующее: грунты — это любые горные породы (магматические, осадочные, метаморфические) и твердые отходы производства, залегающие на поверхности земной коры и входящие в сферу воздействия на них человека при строительстве зданий, сооружений, дорог и других объектов.

Наиболее удачным представляется высказывание академика Е.М. Сергеева о том, что под грунтом следует понимать любые горные породы и почвы, которые изучаются как многокомпонентные системы, изменяющиеся во времени, с целью познания их как объекта инженерной деятельности человека. В дальнейшем мы будем в основном придерживаться смысла этого определения.

Определение термина «грунт» дает возможность представить те задачи, которые призвано решать грунтоведение. Но, естест-

венно, любое название науки не описывает полностью всех ее положений, проблем, нерешенных вопросов.

При оценке свойств грунтов, выступающих в роли оснований, большое внимание уделяется их деформативным и прочностным показателям. Однако следует помнить, что эти показатели в большой степени находятся в зависимости от многих других особенностей грунтов: химико-минерального состава, структуры и текстуры, характера взаимодействия грунтов с водой, степени их выветрелости и ряда других. Недоучет тех или иных особенностей свойств «грунтов-оснований» влечет за собой ошибки при проектировании и строительстве зданий и сооружений, что в итоге приводит к утрате прочности грунтов в период эксплуатации.

Грунтоведение изучает свойства грунтов в зависимости от их состава и структурно-текстурных особенностей. Указанная зависимость и является основным положением отечественной школы грунтоведения.

Совокупность состава и строения (структуры и текстуры) грунтов является выразителем их качества — внутренней сущности и определенности того или иного грунта, которая отличает его от других грунтов. Внутренние связи, существующие в самом грунте, и внешние связи между грунтом и другими телами и определяют свойства грунтов.

Свойство грунта отражает только какую-то одну его особенность, т. е. является частью общего или, иначе говоря, частью его качества. Поэтому для познания качества грунта как совокупности отдельных свойств необходимо познание каждой из этих частей. Однако необходим и обратный процесс познания: от общего качества к сущности отдельных частей в их взаимоотношениях с другими телами при протекании как внутренних (в грунтах), так и внешних (с другими телами) процессов взаимодействия. Отсюда следует, что нельзя изучать только свойства грунтов или только их качество. Даже в том случае, когда интересующие инженеров-геологов горные породы были изучены специалистами других геологических наук, при рассмотрении горных пород как грунтов приходится проводить ряд дополнительных исследований, так как только инженеры-геологи изучают грунты как многокомпонентные системы, изменяющиеся во времени. Вследствие этого в инженерной геологии за главный принцип принято комплексное изучение грунтов: как их свойств, так состава и строения, а зачастую и состояния.

Прогноз изменений свойств грунтов во времени под влиянием различных воздействий возможен только при условии полной информации о том, как они сформировались в процессе генезиса и всей последующей их «жизни».

В инженерной геологии термин «генезис» понимается в настоящее время более широко, чем буквальный перевод с греческого и чем принято сейчас в других геологических науках. Речь идет не только об определенной форме осадконакопления, об определенном виде формирования осадков, но обо всех процессах, которые совершаются и в процессе формирования породы, и тогда, когда порода уже сформировалась, обо всех постгенетических процессах, иначе говоря, о всей геологической жизни породы: от момента начала ее формирования и до того момента, когда порода становится предметом инженерно-геологического изучения. Справедливо было бы говорить, что свойства грунтов зависят от их генезиса и постгенетических процессов, которые в них совершаются, но обычно мы упрощаем и говорим: состав, строение, а отсюда свойства грунтов зависят от генезиса.

Из вышеизложенного следует, что генетический подход при изучении грунтов является методологической основой грунтоведения, как и большинства наук геологического цикла. Эта методологическая основа должна использоваться и при решении практических вопросов — всегда должна проследиваться связь между свойствами горных пород и процессами, которые их сформировали и на них впоследствии воздействовали. Это необходимо как для полного познания качества породы, так и для прогноза изменений этого качества.

Естественно, в грунтоведении, да и в инженерной геологии вообще существуют и широко применяются другие методы исследований. Например, механика грунтов для реализации количественных методов требует схематизации процессов и некоторой формализации при создании моделей грунтов.

Определенная схематизация нужна и в грунтоведении, например при изучении отдельных свойств грунтов, так как сразу невозможно познать сущность не только свойств их массивов, но и даже свойства самих грунтов. Если изучать породу целиком, то получить информацию об отдельных свойствах будет практически невозможно. Горные породы сами по себе сложно организованные системы, не говоря уже об их массивах. Исходя из этого свойства массивов оцениваются постепенно: от простых систем — отдельных свойств, к более сложным — качеству всего грунта и далее к массиву грунта.

Может рассматриваться следующий порядок изучения массива грунтов:

- первый этап — простейшие модели в виде мономинеральных, монодисперсных, моноионных систем;
- второй этап — более сложные модели, в виде естественных минеральных масс с нарушенными связями (например, рыхлые

осадочные образования) или смеси различного минерального состава;

- третий этап — образцы естественных грунтов в сохранном состоянии с природными структурными связями;

- четвертый этап — грунты в естественном залегании в массиве;

- пятый этап, как конечная цель, — определение свойств массивов грунтов, состоящих из различных по составу, строению и составу пород.

При всех видах воздействия на геологическую среду, в том числе и при строительстве, важнейшим свойством является сопротивление грунтов действию различных внешних факторов. Это понятие при известной схематизации может пониматься как прочность грунтов. Но более важным представляется изучение процессов формирования прочности горных пород. Изучение этих процессов возможно только при сочетании трех направлений: геолого-петрографического, физико-химического, с позиций механики и с применением таких современных методов исследований, как рентгенография, электронная микроскопия и др.

Указанные методы исследований позволяют изучать грунты на микроуровне, но в последнее время все больше в грунтоведении изучаются свойства в массивах и оцениваются свойства массивов.

Особая актуальность этой проблемы возникает при рассмотрении скальных грунтов. Это вызвано тем, что, например, прочность скальных грунтов в образцах при испытании на одноосное сжатие может составлять сотни МПа, а сам массив, из которого отобраны образцы, вследствие тектонической раздробленности, наличия литогенетической трещиноватости, выветрелости может быть настолько непрочным, что строительство на нем ответственных сооружений становится невозможным.

Таким образом, грунтоведение охватывает чрезвычайно широкий спектр вопросов — от характеристики внутреннего строения грунта до характеристики массивов.

В связи с этим проследим взаимосвязь грунтоведения как составной части инженерной геологии с другими науками. На современном этапе грунтоведение не может развиваться без учета современных достижений в области математики, механики, физики и химии. Естественно использование всех результатов сопредельных геологических наук, горного дела и строительства, регионального подхода к изучению геологических вопросов. В последние годы выявилось взаимодействие грунтоведения с технической мелиорацией грунтов. Но особую значимость все больше стали приобретать экологические вопросы, особенно геоэкологические их аспекты.

В связи с тем что при возведении промышленно-гражданских сооружений, и особенно их фундаментов, в непосредственную работу вовлекаются в основном осадочные породы, остановимся несколько подробнее на вопросах их формирования.

Эти геологические образования, особенно глинистого, пылеватого и, по последним данным, песчаного состава, характеризуются часто неудовлетворительными или по меньшей мере слабо-пригодными для использования в строительстве свойствами, весьма большой их изменчивостью.

Осаждение вещества, его диагенетические и постдиагенетические преобразования протекают по-разному, в зависимости от физико-химических условий среды, температуры, давления, длительности процессов.

Влияние температуры на формирование осадочных пород и их свойств весьма существенно на всех стадиях процесса литогенеза. Температурный режим континентальных районов во многом определяет скорость и направленность процессов выветривания. Температура воды в водоемах сказывается на выпадении осадков из раствора. Значительна роль температуры и в постдиагенетических процессах — в преобразовании пород: повышение температуры с глубиной ускоряет процессы минералообразования.

Горные породы в земной коре испытывают давление от веса вышележащих толщ и тангенциальное давление (стресс), возникающее в эпохи складчатости, при горообразовании. Особенно сильно сказывается роль гравитационного уплотнения и стресса в постгенетических изменениях пород. Установлена определенная зональность в характере и интенсивности переработки пород по глубине. Эта зональность выражается в появлении новообразованных минералов и определенных структурно-текстурных признаков пород, в изменении их физико-механических свойств.

Воде принадлежит огромная роль в геологических процессах, протекающих в земной коре, и, исходя из выводов В.И. Вернадского, мы никогда не сможем познать многие процессы диагенеза и литогенеза, если не будем знать геологической судьбы воды, ее геохимическую роль.

Степень минерализации, солевой и газовый состав подземных вод изменяются по глубине в земной коре, охватывая сверху вниз осадочный чехол и глубинные магматические и метаморфические породы. В верхней части разреза в породах господствуют процессы разрушения и выщелачивания, иногда имеют место некоторые новообразования, например образование гипсов и карбонатов. В более низких зонах идут окислительно-восстановительные процессы с интенсивным новообразованием минералов, цементацией и вторичными изменениями пород. Еще ниже рас-

солёные и солёные воды взаимодействуют с вмещающими их породами в течение длительного времени (по продолжительности вплоть до геологических периодов и даже эр). Вследствие этого устанавливается химическое равновесие между горными породами и подземными водами.

От химического состава подземных вод и поровых растворов зависит окислительно-восстановительный потенциал (ϵH) и реакция среды (pH), т. е. активность обменных реакций между породами и водой. Они являются важными факторами перемещения вещества на большие расстояния в горизонтальном направлении и миграции его по вертикали, в результате чего происходит выщелачивание одних пород и обогащение минералами других, цементация горных пород и ряд других процессов.

Физико-химические особенности геологической среды оказывают влияние на формирование минералогического состава пород, а тем самым и свойств. Например, изменение pH наиболее резко сказывается на растворимости гидроксидов железа; карбонаты и сульфаты к pH нечувствительны.

Возрастающее при увеличении давления и снижающееся при увеличении температуры содержание диоксида углерода определяет поведение карбонатов в водной среде.

Интенсивность проявления процессов, формирующих свойства горных пород, при прочих равных условиях зависит от длительности их протекания. Даже самые незначительные изменения, происходящие в породе с очень малой скоростью, за геологически длительные отрезки времени существенно изменяют первоначальный облик грунтов.

Глава 8

ОСНОВНЫЕ КАТЕГОРИИ СОСТАВА, СТРОЕНИЯ И СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ РАЗЛИЧНОГО ГЕНЕЗИСА

СОСТАВ ГРУНТОВ

Химический и минералогический состав грунтов. Химический состав грунтов является одной из важнейших характеристик, определяющих их свойства и состояние. При обычных исследованиях в составе инженерно-геологических изысканий для строительства обычно ограничиваются оценкой общего химического состава по результатам химического анализа по соляно-кислой и водной вытяжкам, иногда определяют валовый химический состав.

Но гораздо более важной характеристикой грунтов является их *минералогический*, или минеральный, состав, определяющий в конечном счете как саму породу, так и ее состояние и инженерно-геологические свойства. Выше мы уже отмечали, что наиболее распространенными в горных породах являются примерно 100 минералов. Содержание некоторых из них в породе составляет несколько десятков процентов. Эти минералы называют *главными породообразующими*. Другие обычно содержатся в породе в весьма незначительных количествах (доли процента), и их называют *второстепенными*, или *акцессорными*, минералами. Наконец, встречаются так называемые случайные минералы, или *примеси*, не являющиеся характерными для данной породы.

К числу наиболее распространенных минералов магматических горных пород (гранитов, диоритов, сиенитов, диабазов, порфиров, габбро, дунитов и т. д.) относятся полевые шпаты, доля которых может достигать 60 % общего минералогического состава породы; содержание кварца и пироксенов не превышает, как правило, 10—12 %; слюд — 5 %; оливина — 3 %. Остальные минералы встречаются значительно реже.

Осадочные горные породы (песчаники, аргиллиты, алевролиты, глины, лессы, пески, известняки, мергели и др.) обычно содержат в наибольшем количестве кварц, полевые шпаты, слюды; в качестве второстепенных встречаются минералы групп амфиболов и пироксенов, а такие минералы, как рутил, циркон, встречаются весьма редко.

Но особо следует отметить, что в осадочных горных породах очень широко распространены глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит, гидрослюда, бейделит, иллит и др.), образующиеся в процессе выветривания магматических и метаморфических горных пород. Некоторые осадочные породы (гипс, известняк и др.) в весьма значительных количествах содержат галоидные, карбонатные, сульфатные минералы. Отдельные из них могут слагать мощные толщи (например, известняки, мергели), а иногда встречаются в виде залежей, вкраплений (каменная соль, мирабилит).

Минералогический состав метаморфических горных пород (гнейсов, кварцитов, сланцев, мраморов) во многом отвечает составу исходных материнских пород. Наряду с этими минералами встречаются типично метаморфические минералы — граниты, хлориты, эпидот.

Почти все минералы горных пород имеют, за редким исключением, кристаллическое строение.

В связи с тем что глинистые минералы активны в формировании свойств многих горных пород, необходимо их рассмотреть более подробно.

Глинистые минералы относятся к группе слоистых и слоисто-ленточных силикатов и отличаются от других минералов класса силикатов высокой дисперсностью и гидрофильностью, способностью к сорбции и поэтому к обмену. Высокая дисперсность глинистых минералов является их естественным физическим состоянием.

Глинистые минералы имеют размер не более 1—10 мк. Они являются наиболее активной составной частью дисперсных горных пород, в значительной степени обуславливающей их инженерно-геологические свойства. Поэтому даже небольшое содержание глинистых минералов в горной породе существенным образом влияет на многие важнейшие ее свойства, такие, как гидрофильность, прочность, водопроницаемость, пластичность, набухание и др.

Высокая активность глинистых минералов не может быть объяснена исключительно их большой удельной поверхностью. Многие физико-химические явления, происходящие на поверхности глинистых минералов, определяются особенностями их внутреннего строения.

Именно слоистость минералов позволяет активизировать ионно-обменные реакции, в результате которых обменные катионы входят в межплоскостное пространство решетки кристалла минерала и частично располагаются на внешних гранях кристалла минерала.

Связь между слоями у глинистых минералов может быть различной в зависимости от строения слоя и величины его заряда. У ряда минералов эта связь имеет ионный характер и обеспечивается прочным взаимодействием разноименно заряженных слоев или крупными катионами, располагающимися в межслоевом пространстве одноименно заряженных слоев. У других минералов связь между слоями менее прочная и обусловлена остаточными (молекулярными) или водородными силами.

По распространению глинистые минералы подразделяются следующим образом: 1) гидрослюды (58—95 %); 2) монтмориллонит; 3) каолинит.

Следует сказать, что из-за высокой дисперсности глинистых минералов изучение физических свойств отдельных монокристаллов практически невозможно. Большинство из имеющихся данных было получено для мономинеральных глин или отдельных мономинеральных агрегатов, выделенных из глин.

Плотность частиц глинистых минералов варьируется в широких пределах: 1,77—2,60 г/см³ — для монтмориллонита, 2,13—2,66 г/см³ — для гидрослюды.

Такой известный признак минералов, как твердость, для монтмориллонита 1—1,5; каолинита 2—2,5; глауконита примерно 2 и т. д.

В воде глинистые минералы практически нерастворимы, однако под действием различных кислот и некоторых щелочей многие из них разлагаются.

Важным компонентом состава горных пород является *органическое вещество*, или «биота» (хотя этот термин для геологии не является точным и актуальным, так как он по сути имеет больше геоэкологический или даже экологический смысл), которая накапливается в земной коре в результате жизнедеятельности и отмирания растительных и животных организмов. Наибольшее распространение имеют растительные органические остатки, которые могут встречаться как в виде неразложившихся отмерших растений, так и в виде полностью разложившегося вещества — гумуса.

Органическое вещество имеет почти повсеместное распространение в земной коре, особенно в ее верхней части, где оно накапливается в почвах, торфах, глинах (особенно старичных фаций) и реже в песках. В виде различных углей может слагать значительные по мощности залежи.

Для органического вещества, и особенно для его наиболее разложившейся части — гумуса, характерна высокая гидрофильность и связанные с этим свойства, такие, как высокая влагоемкость, высокая пластичность, низкая водопроницаемость, сильная сжимаемость и т. д. Присутствие в породах гумуса даже в незначительных количествах может коренным образом изменить их свойства, например, только 3 % гумуса в песке снижает его водопроницаемость в сотни раз, придает ему плавунные свойства, водоустойчивость.

Второй характерной особенностью органического вещества является его высокая активность в окислительно-восстановительных и других физико-химических процессах, имеющих место в горных породах. Обладая кислотными свойствами, гумусовые вещества являются активными агентами выветривания, разлагая силикаты и другие минералы с образованием различных коллоидных гуминовых соединений.

Состав и строение органического вещества являются сложными. При разложении исходных растительных остатков, состоящих из углеводов, белков, дубильных веществ, смол и жиров, в почвах и породах могут возникать различные продукты распада, вплоть до образования уголекислоты в воде. Одновременно, в результате синтетических процессов идет гумификация растительных остат-

ков — образуется гумус — вещество, которое не содержится в исходных органических остатках и в продуктах их разложения.

Данные о физических и механических свойствах гумуса и других органических образований крайне ограничены из-за сложности выделения органического вещества из горных пород и почв.

Можно предполагать, что плотность органического вещества не превышает 1,25—1,80 г/см³. При взаимодействии с различными растворителями гумус растворяется.

Гранулометрический и микроагрегатный состав грунтов. Количественные соотношения и размер слагающих грунты элементов имеют огромное значение при оценке инженерно-геологических свойств грунтов.

Большинство горных пород состоит из отдельных кристаллов, их обломков или агрегатов обломков и целых кристаллов. Имеется, правда, небольшое число горных пород с аморфным строением (например, бурый железняк). Все эти элементы горных пород или связаны друг с другом прочными кристаллизационными связями (магматические, метаморфические, часть осадочных пород), или же связи в породах отсутствуют (обломочные осадочные, вулканогенные рыхлые породы). Размеры элементов, слагающих горные породы, варьируют в значительных пределах — от тысячных долей миллиметра до нескольких десятков сантиметров.

Естественно, такой диапазон размеров не может не сказаться на формировании свойств грунтов. Например, зернистость магматических горных пород во многом определяет их прочность и устойчивость к выветриванию (мелкокристаллические граниты более прочны и менее выветриваются, чем среднезернистые и тем более крупнокристаллические того же минералогического состава). Это установлено и для метаморфических и многих осадочных пород.

Установлено, например, что мелкозернистые граниты из района г. Благовещенска имеют предел прочности на сжатие 70—80 МПа, а крупно- и среднезернистые их разности — лишь 34—36 МПа, причем после 25 циклов «замораживания — оттаивания» прочность соответственно снижается до 53—55 МПа у мелкозернистых и до 23—27 МПа у крупно- и среднезернистых гранитов.

Это является основанием для утверждения о целесообразности подразделения горных пород по крупности слагающих элементов и необходимости изучения их размеров. Что, кстати, позволяет для магматических и метаморфических пород оценивать не только структурные особенности, но и в определенной мере судить об их генезисе. Однако в магматических и метаморфических породах оценка соотношения размеров слагающих элемен-

тов возможна лишь качественно в специально подготовленных образцах — шлифах.

Количественные соотношения и размер слагающих элементов в обломочных осадочных породах являются одними из основных классификационных показателей.

Все дисперсные горные породы состоят из частиц одной или, чаще всего, нескольких фракций. Под *фракцией* понимается группа частиц определенного размера, обладающих некоторыми достаточно постоянными общими физическими свойствами.

Под *гранулометрическим составом* понимается количественное соотношение различных фракций в дисперсных породах, т. е. гранулометрический состав показывает, какого размера частицы и в каком количестве содержатся в той или иной породе. Его определение ведется специальными методами: ситовым, отмучиванием и др. Содержание фракции при этом выражается в процентах по отношению к массе высушенного образца.

Гранулометрический состав изображается в виде графика, который, кроме того, позволяет составить мнение об однородности изучаемой горной породы по крупности частиц. При гранулометрическом анализе в составе пород учитывается содержание в них первичных частиц, т. е. содержание отдельных обломков кристаллов и горных пород.

Но в тонкодисперсных породах, наряду с первичными частицами, имеются так называемые вторичные, образующиеся при соединении («слипании») нескольких первичных частиц и формирующие микроагрегаты частиц.

Количество и размер первичных частиц в грунте определяют его *первичную*, или *предельную*, *дисперсность*. *Вторичная*, или *природная*, дисперсность, характеризуемая микроагрегатным составом, учитывает при анализе как первичные, так и вторичные частицы.

Для инженерно-геологической характеристики горных пород необходимо знать как гранулометрический, так и микроагрегатный состав. В связи с тем что гранулометрический состав характеризует предельную дисперсность, он является весьма удобным классификационным показателем. *Микроагрегатный состав*, отражающий степень агрегированности породы в данных условиях, используется для характеристики структурных связей в породе.

Микроагрегатный состав породы не является постоянным во времени, так как в породе непрерывно происходят образование и разрушение вторичных частиц, в связи с чем в отдельных фракциях изменяется содержание частиц. Гранулометрический состав породы на данном отрезке времени является величиной постоянной и изменяется только под влиянием длительных процессов,

протекающих в породе; к числу таких процессов относится, например, выветривание.

Определение того или иного петрографического вида или типа породы, т. е. классификация породы, и является конечным этапом изучения гранулометрического состава дисперсного грунта.

Различными специалистами разработаны гранулометрические классификации, которые можно подразделить на:

- общие, стремящиеся охватить большую часть петрографических типов дисперсных грунтов;
- частные, разработанные для какого-либо одного типа пород.

Применение той или иной классификации определяется целями исследований, а также вопросами инженерно-геологических изысканий, проектирования и строительства сооружений.

Взаимосвязь минералогического состава грунта с размерами слагающих его элементов. В осадочных породах на первичную дисперсность активно влияет минералогический состав этих пород, хотя размер слагающих элементов в связи с их минералогическим составом может быть оценен и в других генетических классах пород, в метаморфических в частности. Так, в крупном песке кварц преобладает над полевыми шпатами, в песке средней крупности полевые шпаты преобладают над кварцем, а в мелкозернистом снова кварц занимает главенствующее положение.

Указанный факт вполне объясним, если при рассмотрении механизма переноса песчаного материала водным потоком учитывать такую важную характеристику минералов, как твердость.

Прочность кварца на истирание исходя из твердости выше, чем у полевых шпатов, поэтому дробление и обработка кварцевых частиц при переносе протекают менее энергично и они накапливаются в крупном песке в большом количестве, а частицы полевых шпатов — в среднезернистом. На частицы мелкого песка активное воздействие оказывают агенты химического выветривания, а в водном потоке — также процессы выщелачивания и растворения. Под их воздействием полевые шпаты в мелком песке интенсивнее разрушаются, чем кварц, который и становится преобладающим в мелком песке минералом.

Аналогичная зависимость между минералогическим составом и дисперсностью пород прослеживается у глинистых и лессовых пород. Чем выше в породе содержание глинистых минералов, тем выше ее дисперсность. Таким образом, породы определенного минералогического состава имеют вполне определенные структурно-текстурные особенности.

Газы в грунтах. Грунты, как известно, обладают пористостью; наличие пор определяет возможность содержания в грунтах газов и воды. В зависимости от того, насколько заполнены поры од-

ним из этих компонентов, грунты будут представлять собой двух- или трехкомпонентную систему. Полностью водонасыщенные грунты рассматриваются как двухкомпонентная система.

Объем пор определяет предельные значения количества воды и газов в грунтах: чем больше поры заполнены водой, тем меньше в них газов, и наоборот. Преобладающий компонент (вода или газ) в очень большой мере определяет свойства грунтов.

Интенсивность газообмена между грунтом и атмосферой зависит от их состава и строения и вызывается диффузным перемешиванием газов, колебаниями температуры и давления, атмосферного воздуха, атмосферными осадками и ветром.

Между атмосферным воздухом и газовой составляющей грунтов различия наиболее велики в количественном содержании диоксида углерода, кислорода и азота. Если в атмосферном воздухе углекислота составляет лишь сотые доли процента (около 0,03 %), то содержание ее в почвах и горных породах возрастает до десятых долей и даже целых процентов, а в почвенном воздухе может достигать почти 10 %. Кислород и азот в толще грунтов содержатся в разных количествах.

Газы в порах грунтов могут находиться в различном состоянии: *свободном*, *адсорбированном* и *защемленном*; кроме того, в воде, заполняющей поры, газы могут присутствовать в виде мелких пузырьков или быть растворенными в ней.

Адсорбированные и защемленные газы оказывают определенное влияние на свойства грунтов. Количество адсорбированных газов на поверхности грунтовых частиц, удерживаемое молекулярными силами, зависит от минералогического состава грунтов, наличия в них гумуса и других органических веществ и соединений, от степени дисперсности, неоднородности, морфологических параметров частиц грунта и его пористости. В наибольшем количестве адсорбированные газы содержатся в абсолютно сухих грунтах, по мере увлажнения их содержание уменьшается и при влажности 5—10 % становится равным нулю.

При увлажнении, связанном с капиллярным поднятием воды в грунтах, газы из открытых пор вытесняются в атмосферу. При одновременном избыточном увлажнении грунта снизу и сверху в отдельных его участках газы оказываются замкнутыми в порах внутри грунта. Это так называемые «защемленные газы» или «защемленный воздух», часто являющийся характерным для пород поверхностных зон земной коры. Защемленные газы занимают значительные участки в толще грунта или находятся в небольших количествах в тончайших микропорах грунта, что является обычным для пылеватых и глинистых грунтов.

Максимальное количество заземленных газов, в отличие от адсорбированных, формируется в грунтах при какой-то оптимальной для данного грунта влажности. Например, в глинистых грунтах заземленные газы могут занимать до 20—25 % объема пор грунтов.

Адсорбированные и заземленные газы с большим трудом удаляются из грунтов внешним давлением. Выявлено, что четвертичная покровная глина и юрская морская глина при естественной влажности сохраняли в себе газы даже после уплотнения их нагрузкой 200 МПа.

Наличие в грунтах адсорбированных и заземленных газов обуславливает многолетнюю осадку насыпей из глинистых грунтов, деформации и разрывы земляных насыпей, уменьшение водопроницаемости грунтов.

Вода в грунтах. Классификация видов воды в грунтах. В зависимости от того, в каком состоянии в грунтах находится вода, она классифицируется следующим образом: парообразная; связанная — прочносвязанная (гигроскопическая), рыхлосвязанная; свободная — капиллярная, гравитационная; в твердом состоянии (лед); кристаллизационная и химически связанная (рис. 50).

Парообразная вода. Наряду с другими компонентами в состав грунтовой атмосферы входит водяной пар. Обычно количество водяного пара в грунтах не превышает тысячных долей процента от общего веса грунта. Однако водяной пар играет большую роль в процессах, протекающих в грунтах, в силу того что может свободно передвигаться в грунте при незначительной его влажности (что отличает его от всех других видов воды в грунтах), а также потому, что при конденсации пара на поверхности грунтовых частиц образуются другие виды воды.

Парообразная вода в грунте находится в постоянном динамическом равновесии с другими видами воды, например, с гигроскопической и с водяным паром в атмосфере. Парообразная вода способна при определенных условиях конденсироваться.

Возможность образования из парообразной воды других видов связана со способностью и интенсивностью адсорбции парообразной воды минеральными частицами.

Интенсивность адсорбции определяется различными факторами, в частности, она зависит от относительной упругости водяного пара. С ростом упругости количество адсорбируемой влаги возрастает. Около 50 % конденсационной воды адсорбируется поверхностью грунтовых частиц, а оставшаяся часть конденсируется в микропорах грунта, где она переходит в связанную воду.

Особенностью адсорбции водяного пара на поверхности грунтовых частиц является то, что помимо отдельных молекул форми-

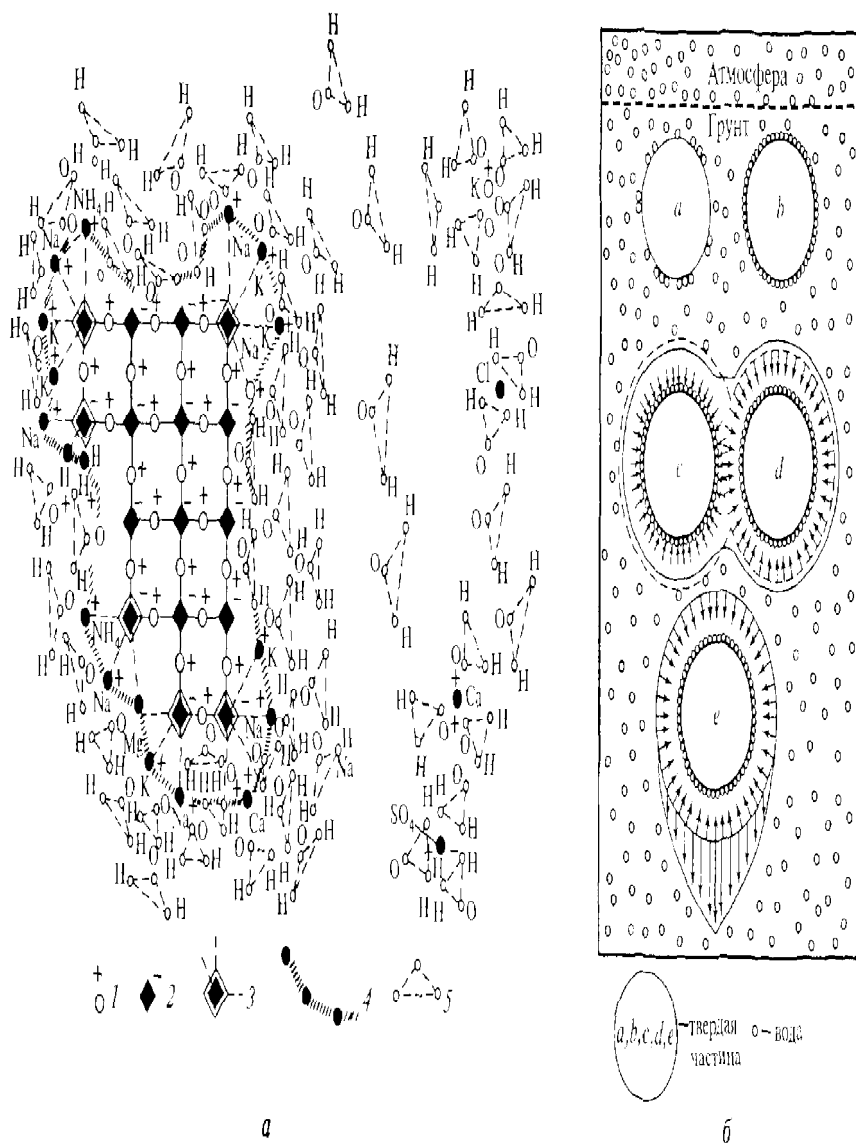


Рис. 50. Схематическое изображение коллоидной частицы, по С. Карамати (а), водные оболочки вокруг глинистых частиц, по А.Ф. Лебедеву (б)

руются комплексы молекул водяного пара, а это сказывается как на количестве адсорбированной влаги, так и на интенсивности ее обмена с грунтовой атмосферой и с атмосферой вообще.

Подвижность парообразной влаги в определенных условиях влияет на свойства грунтов, особенно глинистых, лессовых, где она воздействует на их естественную влажность.

Связанная вода. Еще в начале нашего века специалистами, изучавшими поведение почв и грунтов, установлено, что минеральные частицы в них окружены рядом концентрических слоев воды. Слои воды удерживаются частицами с различной силой в зависимости от того, насколько данный слой воды близок к минеральной частице: чем ближе, тем прочнее он с ней связан.

Современные исследования подтвердили изложенные предположения, и было установлено, что связь между пленками воды и минеральными частицами обусловлена молекулярными силами. Связанная вода составляет более 40 % всей воды, содержащейся в глинистых породах. Присутствие различных категорий связанной воды в грунтах любого состава резко изменяет их состояние и свойства.

По своим характеристикам связанная вода существенно отличается от свободной воды (в частности, от той, которую мы знаем в обыденной жизни). Средняя плотность ее лежит в диапазоне 1,20—1,40 г/см³. Здесь небезынтересно отметить, что существующими способами, например механическими, удастся лишь уплотнить воду на доли процента, и обычно во всех расчетах в диапазоне нагрузок, возникающих в строительной практике, вода принимается как практически несжимаемая жидкость. Связанная вода перемещается в грунтах в сторону падения электрического потенциала, увеличения дисперсности грунта, большего содержания глинистых минералов, в сторону падения температур грунта. Связанная вода замерзает при температуре, близкой к -4°C .

Связанную воду принято подразделять на прочносвязанную и рыхлосвязанную.

Прочносвязанная вода. Максимальное количество прочносвязанной воды в грунтах примерно соответствует максимальной гигроскопичности, т. е. той влажности грунта, которая образуется при адсорбции грунтовыми частицами парообразной влаги при относительной ее упругости, равной 100 %.

Сама прочносвязанная вода имеет несколько разновидностей, каждая из которых существенно влияет на свойства пород; например, так называемая вода базальных поверхностей глинистых минералов (поверхности, перпендикулярные ребрам и сколам их кристаллической решетки) образует вокруг глинистых частиц сплошные пленки воды, вследствие этого величина связи между

отдельными частицами уменьшается, что ведет к снижению прочности глинистых грунтов. При полном содержании всех видов прочносвязанной воды, т. е. при влажности, близкой к максимальной гигроскопичности, указанная потеря прочности глинистыми грунтами весьма значительна.

Содержание прочносвязанной воды в дисперсных грунтах определяется их минералогическим составом, дисперсностью, степенью однородности, формой и характером поверхности минеральных частиц, а также составом обменных катионов в них.

В зависимости от комплекса факторов содержание прочносвязанной воды лежит в пределах 0,2—30 % (в монтмориллонитовых глинах содержание этой воды доходит до 20%, а в каолинитовых — всего около 1 %).

Рыхлосвязанная вода по своим свойствам существенно отличается от прочносвязанной, например, имеет плотность, близкую к плотности свободной воды. Остановимся на этой разновидности воды несколько подробнее. Рыхлосвязанная вода подразделяется на пленочную и осмотическую. *Пленочная* влага как бы облекает собой прочносвязанную и удерживается молекулярными силами в значительно меньшей степени, хотя природа ее взаимодействия с частицами весьма близка к поведению прочносвязанной влаги, но она подвижнее и диполи молекул воды в водной оболочке сориентированы относительно частицы грунта в значительной мере хуже. Суммарное содержание всех видов прочносвязанной и пленочной воды составляет влажность, которая называется максимальной молекулярной влагоемкостью грунтов $W_{\text{м.м.в.}}$. Величина максимальной молекулярной влагоемкости показывает, какое количество связанной воды содержится в грунте под воздействием поверхностных сил притяжения грунтовых частиц. Максимальная молекулярная влагоемкость у песка в среднем около 1—2 %, а в монтмориллонитовых глинах может достигать почти 135 %.

Осмотическая вода образуется в результате проникновения молекул воды из грунтовых растворов. Этот вид воды весьма слабо связан с поверхностью грунтовых частиц, подвижность ее весьма близка к подвижности свободной воды и по структуре и свойствам практически от нее не отличается.

Наличие в грунтах осмотической влаги обуславливает, особенно в глинистых грунтах, их пластичность во вполне определенных для различных грунтов диапазонах влажности.

Свободная вода. Рассмотрим сначала капиллярную влагу.

Капиллярную воду подразделяют на три вида: 1) вода углов пор; 2) подвешенная вода; 3) собственно капиллярная вода.

Первый вид воды (*вода углов пор, или стыковая вода*) иногда называют капиллярно-разобщенной водой или капиллярно-не-

подвижным состоянием свободной грунтовой воды. Этими названиями вполне четко характеризуется данный вид воды. Вода углов пор обычно образуется в местах соприкосновения — на контактах частиц — в виде отдельных капель, занимающих суженные части пор и ограниченных менисками воды. Содержание этого вида воды, например в песках, составляет 3—5 %, в супесях — 4—7 %. С ростом дисперсности количество воды до определенного предела растет.

При увеличении влажности грунта капиллярные поры могут быть полностью заполнены водой, в этом случае капиллярную воду подразделяют на собственно капиллярную и подвешенную воду (в зависимости от того, соединяется она с уровнем грунтовых вод или нет.)

Собственно капиллярная вода формируется за счет поднятия воды вверх от уровня грунтовых вод, образуя под грунтовыми водами в массиве грунта капиллярную кайму. Мощность капиллярной каймы определяется высотой капиллярного поднятия H_k . Капиллярное поднятие зависит от ряда факторов, например, степени дисперсности, неоднородности грунта, его минералогического состава, формы и характера поверхности грунтовых частиц, плотности и пористости грунта (например, в песках она равна в среднем 50 см, а в супесях и других глинистых грунтах доходит до 2—3 м).

При уменьшении капиллярной воды в связи с высыханием грунта наблюдается ее восстановление благодаря подъему по капиллярным порам новых порций воды из водоносных горизонтов, подобно тому как это происходит в капиллярной трубке, опущенной одним концом в воду.

Влажность грунта, у которого все капиллярные поры заполнены водой, называют *капиллярной влагоемкостью*, которая зависит от тех же факторов, что и высота капиллярного поднятия, а также такой специфической характеристики, как капиллярная пористость.

При промачивании грунтов сверху, например, при атмосферных осадках, при возведении грунтовых плотин гидромеханизацией или отсыпкой, при увлажнении и укатке грунта, а также в других случаях, возникающих в строительной практике, в грунтах образуется *подвешенная вода*. Наиболее часто формирование ее происходит в песках, как в однородных, так и слоистых их толщах. Образование подвешенной воды зависит от гранулометрического состава песка и его исходной влажности.

Наибольшее количество подвешенной влаги, которое может удерживаться грунтом, называют *наименьшей влагоемкостью* или *водоудерживающей способностью* грунта. Вся влага, которая посту-

пает в грунт сверх величины наименьшей влагоемкости, стекает по порам в нижележащие слои массива или слоистой толщи грунта.

Капиллярная вода, подобно гравитационной воде, передает гидростатическое давление, по другим свойствам она имеет как сходства, так и различия, например, температура замерзания у нее, как и у связанной воды, может быть значительно ниже нуля (если капилляры $\varnothing 1,6$ мм $t_3 = -6,4$ °C; при $\varnothing 0,06$ мм $t_3 = -19$ °C).

Эта вода способна передвигаться за счет разности температур (от холода к теплу), растворять и переносить соли; при испарении воды эти соли кристаллизуются и этим разрушают структуру грунтов и строительных материалов, например в дорожных одеждах.

Переходим к рассмотрению *гравитационной воды*, которую подразделяют на: 1) просачивающуюся и 2) воду грунтового потока.

Первый вид воды преимущественно располагается в зоне аэрации (зона аэрации—это часть грунтового массива, располагающегося между поверхностью земли и поверхностью грунтовых вод; в этой зоне грунт находится в трехфазном состоянии: минеральные частицы—воздух—вода) и перемещается под действием гравитационной силы сверху вниз. Это движение продолжается до тех пор, пока вода не встретит на своем пути слой грунта, обладающий малой водопроницаемостью,— фактически водонепроницаемый, водоупорный горизонт. После этого дальнейшее движение воды происходит под влиянием напора в виде потока грунтовых вод. Слой грунта, в котором движется вода грунтового потока, называют *водоносным горизонтом*.

В различных по степени дисперсности и неоднородности грунтах количество гравитационной воды может быть различным: так, в крупнообломочных грунтах (гравий, галечник) и в крупнозернистых песках гравитационная вода преобладает над другими видами воды.

Максимально возможное содержание в грунте связанной, капиллярной и гравитационной воды при полном заполнении его пор называют *полной влагоемкостью грунта*.

Гравитационная вода обладает всеми свойствами обычной воды. Она содержит в себе растворенные соли и газы, а также вещества в коллоидальном состоянии. Общая минерализация лежит в пределах от нескольких сот миллиграммов до нескольких сот граммов на литр, к примеру, соленость морской воды равна 35 г/л.

Минерализация подземных вод увеличивается с глубиной. Растворенные в воде соли находятся в подвижном равновесии с твердой составляющей грунтов и взаимодействуют с ней.

Гравитационная вода практически всегда находится в движении. Проблемами динамики подземных вод и влиянием их на

строительные свойства массивов и слоистых толщ грунтов занимается *гидрогеология*. Движущаяся вода способна к растворению горных пород, выносу из них частиц, т. е. к изменению структуры и состава грунтов, к образованию и активизации геологических процессов.

Вода в твердом состоянии. При температурах ниже нуля гравитационная вода замерзает и содержится в грунте в виде льда. Лед может формировать в грунте как прослой различной, иногда значительной мощности, так и рассеянные в его толще отдельные кристаллы. Кристаллический лед в большинстве случаев играет роль природного цемента, скрепляющего минеральные частицы друг с другом. Присутствие льда резко изменяет свойства грунта.

Свойства мерзлых рыхлых грунтов зависят от изменений температуры, особенно при колебаниях ее около 0°C , так как вблизи этой границы резко меняется количество в грунте незамерзшей воды. Соотношение содержания незамерзшей воды и льда в грунте влияет на изменение большей части физических и химических свойств дисперсных мерзлых грунтов.

Резкое изменение строения грунтов происходит при миграции влаги и льдовыделении в процессе промерзания дисперсных, особенно глинистых, грунтов. Эти изменения влекут за собой естественное изменение физических и механических свойств грунтов. Следует иметь в виду, что повторное замерзание и оттаивание дисперсных пород приводят к необратимым изменениям структуры (и в том числе степени дисперсности) и свойств этих пород, так, например, увеличивается количество свободной воды, возрастает фильтрационная способность, изменяются прочность, электрические и другие свойства.

Влажные песчаные грунты при промерзании резко изменяют свои свойства уже при близких к нулю отрицательных температурах; глинистые же грунты при замерзании изменяют свои свойства более плавно, монотонно и в более значительном диапазоне отрицательных температур. Неразрушенные скальные породы при промерзании изменяют свои физические и механические свойства в наименьшей мере. Изучением свойств мерзлых грунтов занимается мерзлотоведение. Мерзлые грунты распространены в России широко, поэтому в строительстве их используют очень часто. Кроме того, значительные территории страны относятся к климатическим зонам, где грунты испытывают постоянное (ежегодное) сезонное промерзание — оттаивание.

Кристаллизационная и химически связанная вода. Кристаллизационная и химически связанная вода, часто называемая конституционной, участвует в формировании кристаллических решеток различных минералов. Так, вода входит в состав таких минера-

лов, как гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и ряда других. *Кристаллизационная вода*, участвуя в построении кристаллической решетки минералов, сохраняет свою молекулярную форму.

Химически связанная вода входит в состав таких соединений, как, например, лимонит ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Эта вода не сохраняет своего молекулярного единства, однако более прочно, по сравнению с кристаллизационной, связана с другими молекулами кристаллических решеток.

Для того чтобы удалить химически связанную воду из минерала, его нужно нагреть примерно до 200°C , а это может привести к распаду (разрушению) минерала.

В химически связанной воде, в отличие от кристаллизационной, в некоторых случаях ион водорода может замещаться ионом металла (Ca, Mg, Na, K, Fe).

Химически связанная и кристаллизационная вода или одна из них присутствуют во вторичных минералах. Среди первичных минералов значительное количество безводных. Поэтому в глинистых грунтах вода, входящая в кристаллические решетки минералов, играет более значительную роль, чем в песчаных.

Очень близко к рассмотрению влияния различных видов воды на свойства грунтов находится оценка роли обменных катионов в грунтах.

Обменные катионы в грунтах. Общее количество ионов в грунте, способных к обмену в данных условиях, называют *емкостью поглощения* или *емкостью обмена грунта*.

В обменных процессах в грунтах участвуют главным образом катионы, так как большинство минеральных и органических частиц в воде приобретает отрицательный электрический заряд.

Обменные катионы, т. е. катионы, участвующие в реакциях обмена, находятся в химической связи с поверхностными молекулами минеральных частиц. Проникновение катионов в состав кристаллической решетки обуславливает возможности этой химической связи.

Способные к обмену катионы входят в состав коллоидных мицелл вокруг частиц грунта, находятся на внешней поверхности частиц, в межпакетном пространстве кристаллической решетки. В грунтах наиболее распространены такие катионы, как Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , H^+ ; гораздо реже встречаются Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , NH_4^+ , Li^+ . По своей активности ионы располагаются в следующий ряд (по убыванию активности): Li, Na, K, NH_4 , Mg, Ca, Ba, H, Al, Fe.

Изучение состава обменных катионов и изменения его во времени имеет большое практическое значение, так как свойства высокодисперсных грунтов, например глинистых и лессовых, за-

висят от состава обменных катионов не в меньшей степени, чем от других факторов. Состав обменных катионов играет определяющую роль в содержании различных категорий воды в грунте, одновременно сказываясь на формировании его микроструктуры и микротекстуры. Это же, в свою очередь, определяет инженерно-геологические свойства грунтов.

Количество связанной воды существенным образом зависит от состава обменных катионов в ней. Образование мощных оболочек связанной воды влечет за собой распад микроагрегатов в грунте. Уменьшение оболочек связанной воды вокруг грунтовой частицы ведет к обратному явлению — процессу коагуляции частиц, т. е. к образованию микроагрегатов, а это, в свою очередь, оказывает заметное влияние на формирование микроструктуры и микротекстуры грунта. Состав поглощенных катионов в очень большой мере сказывается на сорбционной способности частиц, т. е. способности частиц связывать воду. Так, в присутствии одновалентного катиона Na^+ при прочих равных условиях частицы связывают существенно большее количество воды, чем в присутствии двухвалентных катионов — Ca^{2+} , Mg^{2+} . Таким образом, Na -катион как бы усиливает влияние глинистых частиц на свойства пород, а двухвалентные катионы, наоборот, это влияние уменьшают. Иными словами, замена в глинистых породах двухвалентных катионов катионами Na эквивалентна по своему влиянию на свойства пород увеличению содержания глинистых частиц. Это обстоятельство имеет чрезвычайно важное значение. Содержание глинистых частиц в породе, так называемая «глинистость» породы, определяет такие свойства, как способность грунта к набуханию и величину его усадки. Например, набухание происходит при поглощении породами воды, сопровождающемся увеличением толщины пленок связанной воды в контактах частиц и расстояния между ними под действием расклинивающего влияния этих пленок. Набухание сопровождается падением прочности глинистых пород.

Для сохранения индивидуальных частиц в суспензии и предотвращения коагуляции (т. е. объединения в агрегаты) необходимо сохранить отрицательный заряд частиц, вызывающий их отталкивание друг от друга. Этому способствует наличие в дисперсионной среде одновалентных катионов. Наоборот, появление в этой среде двухвалентных катионов приводит к коагуляции и переходу коллоидных систем из золя в гель. Описанное явление имеет существенное значение для формирования плотности глинистых осадков, приобретения рыхлыми горными породами преимущественно глинистого состава того или иного состояния по «плотности — влажности».

Начальная пористость (плотность) водных глинистых осадков зависит от количества частиц и состава воды. Чем больше глинистых частиц (выше «глинистость») содержит осадок при одинаковом составе воды, тем больше его начальный объем и пористость и тем меньше плотность. Это объясняется различным набуханием осадков разного состава. Таким образом, начальная пористость самая высокая у глин, постепенно она снижается у суглинков, супесей и, наконец, песков. В воде, содержащей ионы натрия, объем глинистых осадков при прочих равных условиях больше, чем при содержании ионов кальция. Уплотнение осадков различного состава при увеличении природного давления в процессе их накопления протекает по-разному: наиболее интенсивно в глинах, причиной чего является смазывающее влияние связанной воды, окружающей глинистые частицы, и наличие значительного количества сравнительно крупных пор; значительно меньшая интенсивность уплотнения в суглинках, еще меньше — в супесях и совсем незначительно в песках. Интенсивность уплотнения глинистых осадков и пород зависит от количества глинистых частиц, их минералогического состава и валентности поглощенных ионов. К примеру, при прочих равных условиях она возрастает с увеличением количества монтмориллонита в глинистой фракции и при наличии поглощенного натрия.

Исходя из этого, отметим, что интенсивность уплотнения глинистых осадков и пород является функцией предела текучести; чем выше значение предела текучести, тем меньше начальная плотность глинистого осадка и тем интенсивнее будет протекать уплотнение осадков и пород при увеличении давления.

Известно, что прочность дисперсных систем, к числу которых относятся и глинистые породы, зависит от давления, влияние которого они испытывали. Следовательно, при одинаковой плотности наиболее прочной будет глина, менее прочным — суглинок и наименее прочной из рассмотренных пород — супесь. Надо иметь в виду, что от прочности пород зависит возможность их выдавливания из-под фундаментов, что обычно является причиной разрушения зданий и сооружений. Кстати, это показывает, что распространенное представление о том, что с большей плотностью связана и большая прочность глинистых пород, справедливо лишь в отношении пород одинакового состава.

Отмеченное выше влияние катионного состава на «глинистость» породы сказывается на усадке глинистых пород при потере ими влаги. Величина усадки характеризуется процентным отношением уменьшения объема образца породы при его высушивании к первоначальному объему, а эта величина существенно возрастает с увеличением содержания в породе глинистых частиц

(особенно монтмориллонита), т. е. с увеличением предела текучести. Усадка при высыхании может быть одной из причин перехода пород нормальной плотности в переуплотненное состояние. Особенно часто это проявляется в тяжелых суглинках и глинах у поверхности земли в районах со сравнительно сухим климатом.

Недоуплотненное состояние наиболее характерно для пород с малой величиной предела текучести, т. е. для пылеватых супесей и суглинков, с незначительным количеством глинистых частиц, особенно частиц монтмориллонита, и наличием одновалентных катионов.

При доуплотнении недоуплотненных пород под нагрузкой и при увлажнении, которое не может быть равномерным, возможно возникновение неравномерных дополнительных осадков сооружений.

СТРОЕНИЕ ГРУНТОВ

Общие понятия. Под *строением* грунтов понимают совокупность их структурно-текстурных особенностей, т. е. их *структуру* и *текстуру*.

Термины «структура» и «текстура» выражают очень близкие понятия. В переводе с латинского «структура» — это строение, расположение, устройство, построение, а «текстура» — ткань, соединение, связь.

В настоящее время под *структурой грунта* понимают размер, форму, характер поверхности, количественное соотношение слагающих его элементов (минералов, обломков минералов и горных пород, других отдельных частиц, агрегатов, цемента) и характер взаимосвязи их друг с другом, а под *текстурой* — пространственное расположение слагающих элементов грунта (независимо от их размера).

Все структурные элементы (минеральные зерна и обломки), которые являются слагающими горных пород, связаны между собой структурными связями. Эти связи отличаются друг от друга своей энергией; они могут быть прочными, кристаллизационными (в этом случае их энергия соизмерима с внутрикристаллической энергией химической связи отдельных атомов); они могут быть весьма слабыми, едва проявляющимися в обычных условиях и практически не оказывающими влияния на инженерно-геологические свойства горных пород.

Типы структурных связей. *Структурные связи* являются одной из самых важных характеристик горных пород; от них во многом зависят их инженерно-геологические свойства и состояние. Внутрикристаллические химические связи определяют прочность ми-

неральных зерен — кристаллов, достигающую весьма высоких значений в десятки и сотни МПа. Средняя прочность магматических и метаморфических горных пород равна примерно 500 МПа, осадочных сцементированных — 400 МПа, в то же время у некоторых дисперсных несцементированных пород она снижается практически до нуля. Но прочность горных пород определяется не столько прочностью минеральных зерен, сколько прочностью связи между ними, т. е. структурными связями.

Формирование структурных связей происходит в результате сложнейших физико-химических процессов: кристаллизации, старения, конденсации содержащихся в породе соединений, а также адсорбции, миграции, пропитки и кристаллизации проникающих в горную породу цементирующих веществ из окружающей среды. Влияние проникающих веществ из окружающей среды может носить и «регрессивный» характер, т. е. сложившиеся в породе структурные связи могут разрушаться или переходить в новые, отличающиеся своей энергией, а в конечном счете прочностью, связи между минеральными зёрнами. Кроме того, существующие методы технической мелиорации (или улучшения свойств) грунтов позволяют человеку вмешиваться в процесс формирования структурных связей и создавать грунты с заданными в определенной степени свойствами или изменять их в нужном направлении, например, создавать искусственные связи в трещиноватых скальных грунтах (гранитах, известняках и других) путем их цементации.

В природе образование структурных связей представляет собой весьма длительный историко-геологический процесс, который развивается на протяжении всего периода формирования горной породы и ее последующей геологической жизни.

На первом этапе, в момент образования горных пород (остывание магмы, перекристаллизация при метаморфических процессах, осадконакопление и т. п.), в них возникают первичные структурные связи. На следующих этапах существования горной породы под влиянием уплотнения, выветривания, инфильтрации и растворения водой и растворами в породе возникают вторичные структурные связи. Одновременно с этим возможно изменение в ту или иную сторону первичных структурных связей. Все эти противоречивые процессы обуславливают постоянную изменчивость структурных связей в течение геологического времени, а это влечет за собой и изменчивость инженерно-геологических свойств горных пород. Таким образом, следует еще раз подчеркнуть, что правильное изучение и прогнозирование свойств грунтов необходимо проводить в естественно-историческом аспекте, на генетической основе. При этом нельзя забывать о том, что

прочность и характер структурных связей в каждом конкретном случае зависят от состояния горной породы.

Хорошо известно, что прочность глин в сухом состоянии может достигать почти 10 МПа, во влажном же состоянии глины представляют собой зачастую пластичную или даже текучую массу, легко деформирующуюся под действием собственного веса. Таким образом, при инженерно-геологическом изучении горных пород, помимо определения их состава, возраста, генезиса, нужно учитывать их состояние в каждый конкретный момент времени и прогнозировать их свойства с учетом этого состояния и возможного его изменения.

В различных генетических типах пород развиты или преобладают различные структурные связи, обусловленные различной природой формирования и проявления. В магматических, метаморфических и некоторых осадочных сцементированных породах широко развиты связи химической природы; в тонкодисперсных несцементированных породах связь между отдельными минеральными частицами породы осуществляется за счет молекулярных и ионно-электростатических взаимодействий, которые в инженерно-геологической литературе получили название водно-коллоидных связей. В настоящее время установлено, что дисперсные несцементированные частицы породы могут обладать связями магнитного характера, а также связями за счет поверхностных электрических зарядов, возникающих на контакте минеральных частиц. Рассмотрим более подробно указанные выше типы структурных связей.

Природа *химической связи* отвечает природе внутрикристаллических связей минералов. Химическая связь возникает при непосредственном (истинном) контакте минеральных зерен друг с другом, а также при наличии в пространстве между минеральными зернами прочного цементирующего вещества, которое скрепляется с наружными плоскими сетками кристаллических решеток минеральных зерен.

Химическая связь является наиболее прочным типом структурных связей. Это связь в некоторых горных породах, например метаморфических, в кварцитах, по прочности близка внутрикристаллическим химическим связям. При разрушении этих пород образующиеся линии скола могут проходить как по местам контактов минеральных зерен, так и по самим зернам.

Способы формирования структурных связей химической природы в различных породах неодинаковы. У магматических пород они появляются одновременно с кристаллизацией и твердением магматического расплава, т. е. при образовании самих минераль-

ных зерен. В метаморфических породах связи формируются при перекристаллизации материнских (исходных) пород.

В осадочных породах образование структурных связей происходит в результате инфильтрации природных растворов и выпадения из них солей или при осаждении в поровом пространстве таких соединений, как коллоидный кремнезем или гидроксиды железа, дальнейшем их старении и кристаллизации на контактах между зернами. По своей природе химическая связь представляет собой силы гравитационного, магнитного и электрического характера. В основе химической связи лежит электрическое взаимодействие между атомами.

Более сложный характер имеют *молекулярная и ионно-электростатическая связи*.

Известно, что при сближении атомов или даже двух микроскопических сил между ними в определенных условиях возможно взаимодействие благодаря молекулярным силам (Ван-дер-Ваальса), которые носят универсальный характер. Указанное взаимодействие существует всегда и проявляется не только между заряженными ионами, но и между нейтральными атомами, молекулами и твердыми телами. Энергия этого типа структурных связей значительно меньше, чем при проявлении химической связи, однако молекулярные силы играют важную роль в формировании связей между частицами в тонкодисперсных грунтах.

Наиболее оптимальными условиями для проявления молекулярных связей являются высокая плотность и низкая влажность тонкодисперсных пород. Поэтому глинистые грунты всегда имеют максимальную прочность в сухом состоянии. Однако в природе большинство дисперсных грунтов содержит то или иное количество влаги. Структурные связи во влажных дисперсных грунтах носят поэтому значительно более сложный характер, так как там наряду с молекулярными силами притяжения проявляются расклинивающие силы притяжения гидратных оболочек вокруг твердых минеральных частиц, которые направлены противоположно молекулярным силам, а кроме того, возникают силы взаимодействия ионно-электростатического характера. Это взаимодействие связано с возникновением электрического заряда у твердых минеральных частиц и образованием диффузного слоя ионов вокруг них. Вследствие этого во влажных тонкодисперсных грунтах правильнее говорить о молекулярно-ионно-электростатических связях. Такой тип связей проявляется в глинах, некоторых разновидностях мела и мергеля.

В зависимости от характера проявления молекулярных и молекулярно-ионно-электростатических сил связи, выражающегося

прежде всего в степени агрегации первичных частиц, выделяется несколько типов структур дисперсных пород:

- *стабилизационная структура*; возникает в тонкодисперсных грунтах при наличии на поверхности минеральных частиц активных гидрофильных стабилизаторов, препятствующих слипанию (коагуляции) частиц под влиянием сил молекулярного притяжения, например, пленки гидрофильного органического вещества. К породам со структурой такого типа можно отнести карельские четвертичные перигляциальные глины; истинные плавунцы; майкопские глины Предкавказья; поволжские глины нижнемелового неокомского возраста; глины кембрийского возраста, распространенные в Санкт-Петербурге; мергели мелового туронского возраста и ряд других;

- *коагуляционная структура*; встречается в породах, в составе которых до 1,5 % электролитов. В этих условиях, как известно, возникает структурная коагуляция, которая приводит к образованию в породах рыхлого структурного каркаса. К породам, обладающим такого типа структурой, относят высокодисперсные глины Заволжья, так называемые хвалынские; монтмориллонитовые глины киммериджского и оксфордского ярусов юрского возраста;

- *пластифицированно-коагуляционная структура*; формируется при структурной коагуляции, когда в породах присутствуют органические соединения, обладающие пластифицирующими свойствами, часто в присутствии карбонатов кальция, причем в поровом растворе электролиты должны обладать концентрацией от 0,3 до 10 %. Примером пород с этим типом структуры могут служить глинистый мел туронского яруса мелового возраста; современные черноморские илы; озерные глины; отдельные горизонты морских отложений Каспийского моря; так называемые спондиловые глины;

- *смешанная коагуляционно-кристаллизационная или коагуляционно-цементационная структура*; образуется при одновременном проявлении ионно-электростатических взаимодействий и сил химической природы, поэтому сформированные структурные связи отличаются от перечисленных связей других типов структуры значительно большей прочностью и хрупкостью. Рассматриваемый тип структуры встречается в типичных лессах; мергелях мелового периода кунгурского и сантонского ярусов; в типичном чистом писчем меле; аргиллитоподобных юрских глинах; сланцеватых юрских и нижнемеловых глинах; современных покровных суглинках.

Остановимся теперь на недостаточно еще изученной связи магнитного характера. По полученным данным исследований, она обусловлена наличием магнитных сил за счет присутствия в породах таких природных ферромагнетиков, как минералы гематит, гетит, гидрогематит. Эти минералы встречаются в виде тон-

ких пленок на поверхности твердых частиц. Толщина и степень развития пленок на поверхности частиц зависят от многих факторов, таких, как степень дисперсности, минеральный состав частиц, степень их обработанности, условия образования, транспортировки и существования породы, которые весьма различны в разных генетических типах пород. Степень влияния такого типа связи на формирование структуры естественно невелика, но она накладывает свой специфический отпечаток на общие структурные особенности породы.

Наряду с указанными связями в породах может образоваться связь за счет взаимодействия электрических зарядов, возникающих на контактах минеральных зерен. Электрический заряд в этом случае обуславливается контактной разностью потенциалов. Аналогичное явление возникает при трибоэлектризации (электризации при трении частиц друг о друга). При увлажнении этот тип связи естественно разрушается, так как эффект приобретения электрического заряда характерен только для сухих минеральных частиц, поэтому этот тип связи необходимо учитывать только при оценке сухих рыхлых грунтов.

Форма и характер поверхности (морфология) слагающих горную породу элементов. Генезис горной породы играет весьма существенную роль в формировании морфологических особенностей слагающих ее минеральных зерен, причем это относится, вопреки сложившимся обычным представлениям, как к дисперсным осадочным породам, так и к магматическим, метаморфическим и осадочным сцементированным.

Минеральные зерна и их обломки могут принимать под воздействием генетических и постгенетических процессов весьма разнообразную форму и иметь различный характер поверхности (морфологический облик). Факторы, определяющие *морфологию* минеральных частиц, весьма разнообразны, к ним относятся, например, такие, как условия кристаллизации и перекристаллизации в магматических и метаморфических породах; дальнейшее их выветривание; дислоцирование при тектонических процессах; первоначальная форма минеральных зерен и их обломков; химико-минеральный состав исходных пород; условия и характер выветривания, переноса, осадконакопления в осадочных и метаморфических породах.

Особенно важное значение в формировании инженерно-геологических свойств морфологический облик имеет в дисперсных осадочных породах, в основном песчаных, супесчаных, крупнообломочных. Первоначальная форма обломков зависит от прочности материнской породы, ее состава и структурно-текстурных особенностей. Массивные скальные породы (граниты, известняки) на

первых стадиях разрушения дают крупные обломки в виде многогранников с тупыми углами. При выветривании эти обломки могут разрушаться дальше, вплоть до образования мелких фракций обломочного материала, состоящего преимущественно из отдельных идиоморфных зерен, т. е. имеющих более или менее правильные очертания кристаллов, соответствующих процессам кристаллизации при остывании магмы. Мергель, сланцы, алевролиты, слоистые известняки дают обломки (щебень) плоской и остроугольной формы, которая, как правило, унаследуется при их дальнейшей обработке, транспортировке и переотложении.

При переносе и отложении минеральные зерна и их обломки приобретают ту или иную степень обработанности. Зерна могут быть обработанными и необработанными, т. е. окатанными или неокатанными с шероховатой, полированной, кавернозной или иной поверхностью. Крупные обломки окатываются сильнее, чем мелкие, поэтому наблюдается связь между окатанностью зерен, их обломков со степенью дисперсности. Особенно четко эта зависимость проявляется в песчаных и мелкообломочных породах. Первичные частицы тонкодисперсных пород практически не подвергаются обработке при переносе и переотложении. Весьма существенным в формировании морфологического облика является содержание в породе того или иного минерала. Кварцевые зерна, как известно, весьма устойчивы к обработке, полевые шпаты, кальцит, слюды разрушаются быстрее и приобретают в силу своего внутреннего строения другие, нежели у кварца, форму и характер поверхности. Степень шероховатости или полированности частиц определяется как условиями переноса (трение частиц друг о друга в водной или воздушной среде), так и условиями отложения. Развита поверхность, как измененная поверхность самого минерального зерна, так и пленки вторичного вещества на зерне, их толщина и состав зависят от скорости транспортировки и уплотнения в процессе превращения осадка в породу, при наличии того или иного химического агента в грунтовых растворах, когда происходит растворение поверхности первичного зерна или осаждение коллоидного или кристаллического вторичного вещества на этих зернах, а также при других весьма сложных физико-химических процессах.

Морфология песчаных зерен, пылеватых частиц, обломков горных пород более крупных размерностей является комплексным диагностическим признаком при оценке их генезиса, а также вместе с этим оказывает существенное влияние на формирование их инженерно-геологических свойств. Установлено, что морфологический облик частиц дисперсных пород оказывает влияние на прочность, деформируемость, водопроницаемость пород.

В магматических, метаморфических породах морфологический облик минералов играет огромную роль в формировании их прочностных свойств. В осадочных сцементированных породах форма и характер поверхности частиц определяют форму порового пространства, активность поверхности частиц — при заполнении пространства между частицами цементирующим веществом и его последующей кристаллизации.

Подводя итог рассмотрению основных понятий структуры горных пород, следует сделать вывод о несомненной зависимости формирования структурных особенностей от генетических и постгенетических процессов и влиянии этих особенностей на приобретение породой тех или иных инженерно-геологических свойств.

Роль структурно-текстурных особенностей грунтов. Текстуре горных пород редко уделяется много внимания, так как эта весьма важная характеристика обычно изучается специалистами в чисто геологических целях, хотя она имеет несомненно инженерно-геологическое и практическое «строительное» значение.

Помимо общего понятия о текстуре грунтов введены понятия о *макро-, мезо-, микротекстуре*, которые находятся в тесной взаимосвязи с понятиями макро-, мезо-, микроструктуры применительно к глинистым и лессовым грунтам. Введение этих понятий объясняется тем, что в тонкодисперсных грунтах отдельные частицы, являющиеся первичными структурными элементами, образуют под влиянием процессов агрегации элементы второго порядка — микроагрегаты, а последние, в свою очередь, могут образовывать структурные элементы еще более высокого порядка. Размер отдельных макроэлементов может изменяться от 1 м и более и до долей сантиметра. Особенности пространственного расположения макроэлементов характеризуются *макротекстурой*.

Для глинистых и лессовых пород наиболее характерной является беспорядочная и слоистая макротекстура. Первая характеризуется отсутствием какой-либо видимой слоистости в толще. Порода с беспорядочной макротекстурой выглядит сплошным однородным телом.

Порода со слоистой макротекстурой состоит из отдельных слоев, имеющих какую-либо пространственную ориентацию. Мощность слоев может быть различной: от метров до миллиметров.

Размер, форма, характер поверхности, количественное соотношение микроагрегатов, отдельных микроблоков, а также первичных пылеватых и песчаных зерен в тонкодисперсных грунтах характеризуют их *мезоструктуру*.

Соответственно мезоструктура определяется пространственным расположением этих элементов в породе и их ориентацией. Элементы мезоструктуры имеют размеры от нескольких милли-

метров до 0,005 и 0,001 мм. Поэтому изучение мезоструктуры и мезотекстуры пылеватых и глинистых грунтов производится на специально изготовленных образцах, так называемых шлифах и аншлифах с помощью поляризационных оптических и даже электронных микроскопов при значительных увеличениях (в некоторых случаях до 1000 раз).

Мезотекстура тонкодисперсных пород может быть беспорядочной и ориентированной. Первая характеризуется отсутствием преобладающего направления пространственной ориентации частиц и агрегатов связанных пород. Под поляризационным микроскопом порода с такой мезотекстурой выглядит неравномерно просветленной сплошной массой.

Ориентированная мезоструктура характеризуется определенной ориентацией мезоструктурных элементов относительно какой-либо оси в пространстве. Чаще всего это направление совпадает с направлением или перпендикулярно направлению прилагаемой нагрузки. При рассмотрении образца такой породы (шлифа) под поляризационным микроскопом можно наблюдать отдельные участки, соответствующие ориентированным микроблокам и микроагрегатам, которые видны в поле зрения микроскопа в виде светлых или угасающих участков.

Микроструктура характеризуется размером, формой, характером поверхности и количественным соотношением первичных тонкодисперсных частиц, образующих в грунте микроагрегаты или (значительно реже) существующих изолированно.

Среди тонкодисперсных пород выделяется несколько типов микроструктур. Наиболее распространенными среди них являются пloidчатая, листообразная, овальная, игольчатая и трубчатая. Особенности их пространственного расположения характеризуют микротекстуру грунта, которая может быть беспорядочной и ориентированной.

Размер микроструктурных элементов менее 1—5 мкм. Поэтому микроструктура может быть изучена только с помощью специальной, зачастую уникальной, аппаратуры, например, электронно-микроскопическими методами при увеличениях в 1000, 5000 и даже 10 000 раз. Характеристики микроструктуры и микротекстуры находятся в теснейшей зависимости с описанными выше структурными связями и определяют инженерно-геологические свойства грунтов.

В тонкодисперсных грунтах (глинистых, пылеватых), песчаных, крупнообломочных выделяется несколько типов текстур (микротекстур), таких, как, например, горизонтально-косослоистая, линзовидная, «с признаками ряби» и т. д. Некоторые специалисты при оценке текстуры дисперсных осадочных пород

важное внимание уделяют их пористости, ее видам, размерам пор, так как пористость определяет возможность доуплотнения пород под нагрузкой, их прочностные, деформационные и фильтрационные свойства.

Наличие пористости и ее морфология совместно со степенью трещиноватости играют определенную роль и в формировании указанных характеристик инженерно-геологических свойств для таких осадочных пород, как известняки, мергели, диатомиты, опоки. Трещины и другие особенности состояния пород играют существенную роль в развитии процессов выветривания, растворимости, суффозии, карста и др.

Структура и текстура изверженных горных пород зависят, как уже неоднократно отмечалось, от их генезиса. Магма, поднимающаяся к поверхности земли, быстро охлаждается, а вязкость ее увеличивается благодаря потере воды и газа. Это обстоятельство благоприятствует образованию вулканического стекла с пелитовой или сферолитовой структурой. Сферолитовые структуры особенно характерны для «древнеобразованных» (палеотипных) излившихся пород и образуются при старении стекла. В поверхностных условиях лавовые потоки затвердевают очень быстро, крупные кристаллы не развиваются, и для эффузивов наиболее типична афанитовая («глухая») структура, равно как для кристаллических, так и для стекловатых пород. Горные породы с подобными структурами имеют высокую механическую прочность и одновременно характеризуются известной хрупкостью. В эффузивных, в частности вулканических, породах часто встречаются пузырчатые текстуры. Породы этого типа усеяны газовыми пузырьками миндалевидной, округлой или эллипсоидальной формы. Такая текстура определяет пористость до 60 % в армянских туфах, снижая их плотность до $0,95 \text{ г/см}^3$. Часто пустоты в вулканогенных породах выполнены вторичными минералами и сообщают им миндалекаменную текстуру. Породы миндалекаменной текстуры значительно прочнее пузырчатых, но благодаря своей неоднородности уступают по прочности эффузивным породам с так называемой массивной текстурой, например, в липаритах, андезитах, базальтах. Кроме того, в эффузивных породах выделяют пензовую текстуру, отличающуюся огромным количеством пор, в которых минеральная составляющая образует тонкие перегородки между порами.

Сходное влияние на физические и механические свойства эффузивных пород оказывает и порфирировая структура, при которой крупные вкрапления одного или нескольких минералов бывают погружены в тонкозернистую или стекловатую основную массу. Порфирировая структура может образовываться и на глубине при

формировании дайковых пород. Текстура в этих породах обычно относится к так называемой немассивной, иногда имеющей некоторую пористость, в определенных условиях несколько ориентированную, что сказывается в какой-то мере на прочности и устойчивости пород к выветриванию.

Структуры и текстуры глубинных пород существенно иные. Кристаллизация магматического расплава на глубине происходит постепенно под влиянием медленного охлаждения и присутствия летучих веществ. Также постепенно формируется мозаика минеральных зерен, образующих структуры породы. Поэтому наиболее характерная особенность глубинных пород — это полнокристаллическая, относительно крупная и равномерно-зернистая структура. Разновидностей ее очень много, например, одна из наиболее известных — пегматитовая с типичным «письменным» рисунком. При инженерно-геологической оценке породы большое значение имеет размер зерен, так как в общем случае мелкозернистые породы являются более прочными и устойчивыми к выветриванию, чем крупнозернистые.

Вопрос оценки влияния текстурных особенностей глубинных магматических пород на их инженерно-геологические характеристики мало изучен, поскольку для этих пород в основном характерна массивная текстура, которая заведомо определяет высокие инженерно-геологические свойства пород.

Огромное значение для формирования пород в условиях динамо-термального метаморфизма, особенно для возникновения сланцеватых текстур, имеет одностороннее давление. Под его влиянием в горной породе происходят скользящие дифференциальные движения, минералы приобретают закономерную ориентировку как по внешней форме, так и по внутреннему строению. Одностороннее давление в известной мере определяет анизотропию растворения и роста минералов, которая также способствует образованию ориентированных структур и текстур.

Для большинства метаморфических пород характерна анизотропность свойств, обусловленная их типичной сланцеватостью. Прочность на сжатие, сопротивление сдвигу, модуль упругости значительно ниже вдоль сланцеватости, чем перпендикулярно ей. Сланцеватостью определяется и значительная выветриваемость этих пород, а также пониженная устойчивость на природных склонах и в бортах искусственных выработок, особенно вдоль сланцеватости. Многие метаморфические породы образуют в результате выветривания тонкоплитчатые и листоватые весьма подвижные осыпи.

Кроме ярко выраженной сланцеватости в метаморфических породах выделяют такие виды текстур, как слоистая, косая гори-

зонтальная, очковая, а в таких породах, как мраморы и роговики, — массивная, однородная, «сахаровидная». Указанные виды текстур имеют вполне четкое влияние на инженерно-геологические свойства пород.

Породы катакlastического метаморфизма имеют, как правило, брекчиевидную текстуру, с некоторой сланцеватостью, прослойками таких минералов, как хлориты, серициты, у которых отмечаются пониженные инженерно-геологические показатели.

СОСТОЯНИЕ ГРУНТОВ

В последнее время специалисты в инженерной геологии уделяют большое внимание такой важной категории оценки грунтов, как их состояние. Понятие «состояние грунтов» мы уже рассматривали, здесь попытаемся несколько упорядочить изложенные ранее сведения. Следует отметить, что пока нет четко сформулированного определения этой категории. К числу характеристик, определяющих состояние грунтов, относят *степень трещиноватости, выветрелости, влажности, водонасыщенности, плотности* и др. Такие характеристики, как трещиноватость и выветрелость, определяют свойства пород в образце и в массиве; как известно, такая величина, как предел прочности на сжатие в образце, существенно превышает ее значения в массиве, иной раз до двух порядков. Степень выветрелости имеет несколько иное влияние на формирование свойств грунтов в образце и в массиве. Трещины выветривания обычно заполнены вторичным минеральным материалом, а это, естественно, резко повышает неоднородность массива, тем самым уменьшая или, точнее, меняя прочностные, деформационные и фильтрационные свойства пород в массиве.

Степень влажности чаще всего учитывают при оценке свойств дисперсных грунтов. Она определяет возникновение, «оживление» и развитие таких неблагоприятных явлений и процессов, как оползни, солифлюкция, в отдельных случаях способствует селеобразованию и ряду других явлений. Степень влажности сказывается на деформационно-прочностных характеристиках массивов грунтов, на консолидации грунтов в основании сооружений при приложении к ним нагрузок инженерных сооружений. Очень близко к степени влажности стоит степень водонасыщенности, более применимая в настоящее время к скальным трещиноватым грунтам. Эти две категории определяют способность грунтов деформироваться под нагрузкой, консолидироваться; существенно влияют на прочностные характеристики массивов грунтов; в климатических зонах, подверженных резким колебаниям температур, в районах распространения мерзлых грунтов степень влажности и

степень водонасыщенности их значительно влияют на морозостойкость пород в массиве.

Для дисперсных грунтов особое значение имеет степень их плотности, например, встречаются недоуплотненные пылеватые и песчаные грунты, такие, как золотые мелкозернистые, распространенные в южной части Кара-Кумов, золово-морские (дюнные) пески балтийского побережья, лессовые грунты различного генезиса.

Недоуплотненное состояние этих грунтов является одной из причин просадочных явлений, отчасти разжижения песков, неоднородных деформаций в основании сооружений, нарушения устойчивости пород в откосах естественных и искусственных выемок.

Все перечисленные характеристики состояния грунтов в их «предельных» значениях резко ухудшают свойства массивов при приложении вибрационных, динамических, в частности сейсмических, нагрузок. Сильнотрещиноватые, выветрелые, водонасыщенные или влажные недоуплотненные грунты в массиве значительно снижают возможность использования их в основании ответственных сооружений. При расчетах на сейсмическую устойчивость сооружений, проектируемых на грунтах, которые не входят в указанных выше состояниях, согласно действующим нормативным документам, требуется увеличивать расчетные значения, учитывающие сейсмические воздействия, в некоторых случаях на 1 балл выше установленной для всего района общей сейсмической интенсивности.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Физические свойства грунтов. Инженерно-геологические свойства горных пород являются весьма емким понятием, охватывающим их физические, водно-физические и механические свойства. Определение этих свойств, назначение их расчетных значений при проектировании оснований и фундаментов различных сооружений, прогноз их изменений во времени и являются основной конечной целью грунтоведения. При определении параметров свойств грунтов возникают конкретные задачи, решаемые различными способами и методами грунтоведческих исследований, для которых разработаны конкретные методики, приборы и оборудование.

Физические свойства горных пород естественно охватывают все их генетические классы от магматических и метаморфических до обломочных и тонкодисперсных осадочных. Однако в связи с тем, что в строительной практике чаще всего приходится иметь

дело с рыхлыми дисперсными породами, а также в связи с тем, что эти породы обладают значительной изменчивостью свойств, рассмотрение характеристик свойств грунтов мы будем проводить в основном для этих грунтов.

Отметим вначале наиболее характерные физические свойства горных пород, согласно ГОСТ 25100—95. К числу наиболее важных характеристик относятся плотность и пористость породы.

Плотность грунта — это отношение массы породы, включая массу воды в ее порах, к занимаемому этой породой объему. Плотность породы зависит от минералогического состава, влажности и характера сложения (пористости)

$$\rho = m/V,$$

где ρ — плотность грунта, г/см³, кг/м³, т/м³; m — масса породы с естественной влажностью и сложением, г; V — объем, занимаемый породой, см³.

Плотностью частиц грунта называют отношение массы сухого грунта, исключая массу воды в его порах, к объему твердой части этого грунта:

$$\rho_s = (m - m_b)/V_t,$$

где ρ_s — плотность грунта, г/см³, кг/м³, т/м³; m_b — масса воды в порах грунта, г; V_t — объем твердой части грунта, см³.

Плотность частиц грунта изменяется для всех горных пород в небольших пределах от 2,61 до 2,75 г/см³ и для каждой генетической разности породы определяется только ее минералогическим составом.

Удельный вес грунта характеризует отношение веса грунта, включая вес воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему, включая поры, и может быть рассчитан следующим образом:

$$\gamma = \rho g,$$

где γ — удельный вес грунта, Н/м³; g — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с².

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

$$\rho_d = (m - m_b)/V,$$

где ρ_d — плотность скелета породы (плотность сухого грунта), г/см³, кг/см³, т/м³; $m - m_b = m_1$ — масса сухого грунта, г; V — объем, занимаемый породой, см³.

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

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

где ρ — плотность породы, г/см³; ρ_d — плотность скелета породы, г/см³; W — влажность породы, %.

Удельный вес частиц грунта характеризует отношение веса сухого грунта к объему его твердой части и может быть рассчитан следующим образом:

$$\gamma_s = \gamma_s g,$$

где γ_s — удельный вес частиц грунта, Н/м³, кН/м³, МН/м³.

Удельный вес сухого грунта характеризует отношение веса сухого грунта ко всему занимаемому этим грунтом объему и может быть рассчитан следующим образом:

$$\gamma_d = \rho_d g = \gamma / (1 + W),$$

где γ_d — удельный вес сухого грунта, Н/м³.

Физические значения плотности применяют для характеристики физических свойств горной породы грунта основания или строительного материала, а также в динамических расчетах оснований.

Физические значения удельного веса используют непосредственно в остальных расчетах оснований, в частности при определении природного давления, при расчете осадки.

Пористость пород представляет собой характеристику пустот или свободных промежутков между минеральными частицами, составляющими породу.

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

$$n = (V_n / V) 100,$$

где V_n — объем пустот породы, см³; V — объем, занимаемый породой, см³.

Кроме того, пористость можно выразить через значение плотности грунта:

$$n = [(\rho_s - \rho_d)/\rho_s]100;$$

$$n = (1 - \rho_d/\rho_s)100.$$

Приведенной пористостью, или коэффициентом пористости, называют отношение объема пустот (пор) к объему твердых минеральных частиц породы. Коэффициент пористости выражается в долях единицы по формулам:

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

Водно-физические свойства грунтов. *Влажностью породы W называют отношение массы воды, содержащейся в порах породы, к массе сухой породы (высушивание образца должно производиться в термошкафу при $t = 105...107^\circ\text{C}$ в течение 8 ч и более).*

Влажность породы, кроме того что она является физическим свойством породы, служит важнейшей характеристикой ее физического состояния, определяющей прочность, деформируемость и другие свойства при использовании в инженерных целях.

Под *естественной (весовой) влажностью породы W , %*, понимается количество воды, содержащееся в породе в естественных условиях:

$$W = [(m - m_1)/m_1]100,$$

где m — масса породы вместе с содержащейся в ней водой, г; m_1 — масса высушенной породы, г.

Максимально возможное содержание в грунте связанной, капиллярной, гравитационной воды при полном заполнении пор называют *полной влагоемкостью породы* и определяют по формулам:

$$W_n = n/\rho_d \quad \text{или} \quad W_n = e\rho_w/\rho_s.$$

Под *гигроскопической влажностью W_r* понимают влажность воздушно-сухого грунта. *Степенью влажности, или относительной влажностью*, называют степень заполнения пор грунта водой и характеризуется отношением объема воды к объему пор грунта:

$$S_r = W\rho_s(100 - n)/n \quad \text{или} \quad S_r = W\rho_s/e\rho_w,$$

где S_r — степень влажности породы, %; W — естественная влажность породы, %; ρ_s — плотность частиц породы, г/см³; n — пористость, %; ρ_w — плотность воды, г/см³; e — коэффициент пористости.

По степени водонасыщенности все рыхлые породы подразделяют на четыре основные группы (по величине S_r): сухие — 0—0,2; слабовлажные — 0,2—0,4; влажные — 0,4—0,8; насыщенные водой — 0,8—1,0.

Максимальная молекулярная влагоемкость характеризует содержание прочносвязанной, рыхлосвязанной воды и воды ближней гидратации, т. е. влажность грунта при максимальной толщине пленок связанной воды вокруг минеральных частиц $W_{\text{м.м.в.}}$. Ее определяют центрифугированием для глинистых грунтов, а для песчаных и супесчаных грунтов — способом высоких колонн.

Пластичность — способность породы изменять под действием внешних сил (давления) свою форму, т. е. деформироваться без разрыва сплошности и сохранять полученную форму, после того как действие внешней силы прекратилось, — является характеристикой, во многом определяющей деформируемость.

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

Нижним пределом пластичности W_p , или *границей раскатывания*, называют такую степень влажности глинистой породы, при которой глинистая масса, замешанная на дистиллированной воде, при раскатывании ее в жгутик диаметром 3 мм начинает крошиться вследствие потери пластических свойств, т. е. такая влажность, при которой связный грунт переходит из твердого состояния в пластичное.

Верхний предел пластичности W_L , или *граница текучести*, представляет собой такую степень влажности глинистой породы, при которой глинистая масса, положенная в фарфоровую чашку и разрезанная глубокой бороздой, сливается после трех легких толчков чашки ладонью. При большей степени влажности глинистая масса течет без встряхивания или при одном-двух толчках, т. е. такая степень влажности, при которой связный грунт переходит из пластичного состояния в текучее.

Разница между верхним и нижним пределами пластичности получила название числа пластичности, J_p , %:

$$J_p = W_L - W_p.$$

По числу пластичности J_p выделяют породы четырех типов: 1) высокопластичные (глины) — 17 %; 2) пластичные (суглинки) — 17...7 %; 3) слабопластичные (супеси) — 7 %; 4) непластичные (пески) — 0.

Консистенция J , или показатель текучести, — это характеристика состояния грунта нарушенной структуры:

$$J = (W_L - W_p)/J_p.$$

Количественные характеристики гранулометрического состава. При характеристике гранулометрического состава используют такие показатели, как эффективные диаметры d_{60} и d_{10} , т. е. диаметры частиц, меньше которых в грунте содержится по массе соответственно 60 или 10 % частиц. Иногда к числу эффективных диаметров относят d_{50} , d_{90} , d_{95} и d_5 , которые вычисляют аналогично описанному способу. Эффективные диаметры применяют для оценки *степени неоднородности* гранулометрического состава грунта

$$C_n = d_{60}/d_{10}$$

или *степени сортированности*

$$S = d_{90}/d_{10}.$$

Применяют также показатели, характеризующие однородность грунта, такие, как $d_{50} d_{90}/d_{10}$ или $d_{50} d_{95}/d_5$.

В практике инженерно-геологических исследований применяют также специальные статистические коэффициенты, характеризующие крупность частиц грунта с помощью методов математической статистики (по нормальным и логарифмически нормальным распределениям частиц по крупности).

Приведенные характеристики применяют обычно для песчаных, гравийно-галечных и пылеватых грунтов.

Некоторые свойства глинистых грунтов и их характеристики. Возвращаясь к оценке свойств глинистых грунтов, рассмотрим следующие важные их характеристики.

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

Коэффициент набухания (k , %) определяют по данным лабораторных исследований по приросту объема породы в процессе насыщения ее водой:

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

где V — объем набухшей породы, см^3 ; V_1 — объем воздушно-сухой породы, см^3 .

Способность пород к набуханию характеризуется:

- степенью деформации набухания R_n , %, определяемой по изменению объема или высоты образца;
- давлением набухания P_n , МПа, которое развивается при невозможности объемных деформаций в процессе набухания породы;
- влажностью набухания W_n , соответствующей такому состоянию породы, при котором прекращается процесс поглощения жидкости (воды) породой.

Явление набухания учитывают при строительных работах. Набухание пород (главным образом дисперсных) наблюдается в котлованах, траншеях и других выемках, а также при строительстве плотин, дамб, транспортных насыпей и водохранилищ, когда изменяются гидрогеологические условия сооружений и увеличивается влажность пород, особенно глинистых, за счет вновь поступающей воды.

Усадкой породы называют уменьшение объема породы под влиянием высыхания, зависящее от ее естественной влажности: чем больше влажность, тем больше усадка. В наибольшей степени набуханию и усадке подвержены глинистые породы.

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

При оценке размокаемости принимают во внимание вид породы после распада (пылевидный, пластичный, комковатый) и отмечают размер распавшихся частиц. Глинистые породы размокают в несколько раз медленнее, чем песчаные. Наличие в породе гумуса и карбонатов замедляет размокание.

Большая часть пород с кристаллизационной структурой является практически неразмокаемой. Большинство же дисперсных пород с другими видами связи относятся к категории размокаемых.

Для характеристики размокания пород обычно используют два показателя:

- время размокания, в течение которого образец породы (главным образом, глинистой), помещенный в воду, теряет связность и распадается на структурные элементы разного размера;
- характер размокания, отражающий качественную картину распада образца породы.

Размокание породы имеет существенное значение при подготовке проекта производства работ и организации возведения соо-

ружения с учетом климатических особенностей района строительства и сезона работ.

Плотные суглинки и четвертичные, а особенно древние, глины, не размокающие в стоячей воде, разрушаются при длительном воздействии текучей воды, т. е. размываются.

Размываемость пород со слабыми структурными связями обусловливается сопротивлением их размоканию.

Деформационные и прочностные свойства грунтов и их характеристики. Расчет оснований сооружений, проектирование фундаментов, качественных насыпей, создание проектов производства работ, оценка и прогноз эксплуатации оснований и фундаментов, а в конечном итоге и сооружений; выяснение причин развития и активизации природных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений невозможны без определения физико-механических свойств грунтов, наиболее важными из которых являются деформационные и прочностные.

Сжимаемость грунтов характеризует их способность деформироваться под влиянием внешней нагрузки, например давления от введенных сооружений, не подвергаясь разрушению. Деформационные свойства грунтов характеризуются модулем общей деформации, коэффициентом Пуассона, коэффициентами сжимаемости и консолидации, модулями сдвига и объемного сжатия.

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

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

Общая характеристика сжимаемости грунтов как деформационного показателя определяется модулем общей деформации E .

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

Деформация сжатия перечисленных грунтов обусловлена при обычных в строительстве нагрузках упругим сжатием частиц и газа. Для водонасыщенных глин, особенно с нарушенными структурными связями, сжатие осуществляется при оттоке воды

из пор грунта, скорость которого зависит от водопроницаемости грунта. Для правильного суждения о скорости осадки сооружений используют данные о консолидации грунтов. Консолидация дисперсных грунтов — это их уплотнение во времени под постоянной нагрузкой.

К числу факторов, определяющих сжимаемость грунтов, относят их гранулометрический, минералогический составы и характеристики структуры и текстуры.

Дисперсность и степень неоднородности грунтов определяют отчасти их пористость, а тем самым обуславливают возможность их деформирования. Определенное значение здесь имеет и фильтрационная способность различных по крупности грунтов.

Немаловажное значение имеет и минералогический состав грунтов. Наличие в песках частиц слюды значительно увеличивает сжимаемость таких песков и величину обратимой деформации. Состав минералов в глинистых грунтах определяет размер, форму и гидрофильность частиц грунта. Пористость глинистых грунтов возрастает, как и возможность уплотняться при действии внешней нагрузки, с увеличением дисперсности и гидрофильности глин. Это подтверждается фактом наибольшей деформируемости монтмориллонитовых глин по сравнению с другими минералогическими разностями глин, что определяется свойствами монтмориллонита, его внутренним строением.

К числу факторов, определяющих способность грунтов деформироваться, относится и морфология их частиц, формирующая в некоторой степени размер и форму порового пространства, их фильтрационную способность. Угловатые частицы с шероховатой поверхностью по сравнению с окатанными полированными обладают не только повышенной способностью адсорбировать на себе водные пленки и пленки вторичных образований различного химического состава, тем самым способствуя развитию структурных связей различного характера, но и затрудняют перемещение частиц друг относительно друга за счет естественного в таком случае повышенного трения частиц при перемещении. Наиболее характерно это для песчаных, мелкообломочных и отчасти пылеватых грунтов. Наличие в грунтах гумуса и других гидрофильных компонентов определяет степень развития структурных связей, сорбционную способность грунтовых частиц. Указанный факт, толщина пленок воды, упругие и пластические свойства гумуса и других органических соединений существенно сказываются на способности грунтов деформироваться под нагрузкой, кроме всего прочего, за счет изменений в возможности фильтрационного отжатия воды из порового пространства. Наиболее ярко это проявляется в глинистых, пылеватых и отчасти супесчаных грунтах.

Установлено также, что на формирование и размер водных пленок и развитие структурных связей влияет и состав обменных катионов в поровом растворе грунтов. Естественно, это в определенной степени сказывается и на деформационных свойствах грунтов.

Прочность грунтов. К числу наиболее важных физико-механических свойств грунтов относят их прочность. Прочностные характеристики грунтов являются определяющими при решении инженерно-геологических задач, возникающих при оценке оснований, проектировании, строительстве и эксплуатации фундаментов сооружений. Сопротивление грунтов сдвигу является их важнейшим прочностным свойством. Под действием некоторой внешней нагрузки в определенных зонах грунта связи между частицами разрушаются и происходит смещение (сдвиг) одних частиц относительно других — грунт приобретает способность неограниченно деформироваться под данной нагрузкой. Разрушение грунта происходит в виде перемещений одной части грунтового массива или слоистой толщи относительно другой (к числу примеров, часто возникающих в строительной практике, можно отнести оползание откосов строительных котлованов и других выемок, «выпор» грунта из-под сооружений).

Сопротивление грунтов сдвигу в определенном диапазоне давлений (от десятых долей до целых единиц МПа) может быть описано линейной зависимостью Кулона

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

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

Величины φ и C являются параметрами зависимости сопротивления грунтов сдвигу, которые необходимы для инженерных расчетов прочности и устойчивости массивов грунтов.

Подробное рассмотрение процессов формирования прочности различных грунтов на основе обобщения результатов многочисленных экспериментальных исследований привело специалистов к выводу о том, что параметры прочности (φ и C) не являются однозначными факторами в формировании сопротивления сдвигу для глинистых и песчаных грунтов. Так, для песков основную роль играет внутреннее трение, выражаемое коэффициентом внутреннего трения $\operatorname{tg} \varphi$, сцепление же носит подчиненный характер, главным образом, это сцепление-зацепление между отдельными частицами, вторичные цементационные связи между пленками

на поверхности песчаных частиц. Сцепление в песках обусловлено, таким образом, морфоскопическими особенностями их зерен. В глинистых грунтах главная роль принадлежит сцеплению C , в силу развитых внутренних связей различного характера и природы в этих грунтах. Несколько упрощая вопросы формирования прочности в грунтах различного состава и строения, можно условно записать, что в зависимости Кулона в глинах коэффициент внутреннего трения $\text{tg}\varphi$ стремится к нулю, а в песках, в свою очередь, сцепление C стремится к нулю.

Минеральный состав песков и глин определяет характер сопротивления их сдвигу; для глинистых грунтов характерно сопротивление их одноосному сжатию и разрыву. Содержание в песках слюд, хлорита, талька и других минералов, характеризующихся низкими показателями трения, снижает сопротивление таких песков сдвигу. Наименьшее сопротивление сдвигу и сжимаемость характерны для монтмориллонитовых глин.

Исключение составляют глины в воздушно-сухом состоянии, по изложенным выше причинам. Наибольшее сопротивление на одноосное сжатие и разрыв будет присуще тем же глинам, благодаря дегидратации, обуславливающей образование в грунте максимума контактов, проявляющихся в степени развития ионно-электростатических связей.

К числу факторов, влияющих на развитие структурных связей, относятся степень дисперсности и однородности грунтов, их морфологические характеристики, степень развития вторичных пленок на зернах песков, количество связанной воды, состав обменных катионов, значение коэффициента трения частиц друг о друга. Указанные факторы обуславливают прочность грунтов по изложенным причинам при рассмотрении их сжимаемости.

К настоящему времени накоплен значительный объем результатов исследований, проливающий свет на процессы формирования прочности грунтов и объясняющий природу трения и сцепления, которые развиваются в грунтах и являются основными расчетными показателями прочности, используемыми в инженерных расчетах.

Физико-механические свойства дисперсных грунтов зависят, таким образом, от соотношения твердой и жидкой минеральных компонент грунта. В последнее время получены данные о влиянии на физико-механические свойства органики (гумуса) элементов биоты и газовой компоненты и о чрезвычайно важной роли в этом структурно-текстурных особенностях дисперсных грунтов. К примеру, как это уже отмечалось, глинистые грунты обладают сопротивлением сжатию и на разрыв, в песчаных грунтах последнее свойство практически не проявляется.

Формирование физико-механических свойств скальных грунтов имеет свои специфические особенности, весьма важные и необходимые для познания их природы и прогноза проявления. При изучении скальных горных пород важно установить содержание в них порообразующих минералов. Наибольшее значение имеют минералы класса первичных силикатов — полевые шпаты, пироксены, амфиболы, оливин и др. С определенной условностью к ним относят кварц, у которого, как известно, преобладают внутрикристаллические связи. Играть роль и простые соли: карбонаты, сульфаты, галоиды имеют ионный тип связей, которые существуют внутри самих минералов (атомов, ионов, радикалов). Свойства же минералов передаются свойствам грунтов.

Наибольшее значение для скальных пород имеет их трещиноватость. К скальным породам с кристаллическими и структурными связями относятся, главным образом, магматические и метаморфические. При пористости 1—5 % эти породы могут характеризоваться трещинной системой объемом в 10—20 %. Очевидно, что водопроницаемость трещиноватых грунтов, физико-механические свойства определяются не столько их пористостью, сколько трещиноватостью.

В настоящее время выделяют различные генетические типы трещин:

- первичной отдельности, или литогенетические, обычно тонкие, чистые от заполнителя, закономерно ориентированные;
- выветривания, иногда значительные по размерам, затухающие с глубиной, с различным по составу заполнителем;
- тектонического происхождения, различного, иногда весьма значительного размера, незатухающие с глубиной, с различным заполнителем или без него.

Иногда выделяют также специфические трещины исключительно сейсмогенного происхождения. Для характеристики трещиноватости разработаны специальные приемы, описывающие их ориентированность, размеры и другие параметры.

Трещины подразделяют на тонкие (менее 1 мм), мелкие (1—5 мм), средние (5—20 мм), крупные (20—100 мм) и очень крупные (более 100 мм).

Высокая прочность магматических и метаморфических пород, как уже отмечалось, объясняется наличием структурных кристаллизационных связей химической природы. Под воздействием факторов выветривания магматические и метаморфические горные породы разрушаются; если физическое выветривание преобладает над химическим и разрушение сводится в основном к дроблению грунтов, то при участии процессов денудации из выходящих на поверхность грунтов образуются крупнообломочные

и песчаные породы со слабыми молекулярными, капиллярными и электростатическими структурными связями. В случае, когда химическое выветривание преобладает над физическим, из названных горных пород формируются чаще всего глинистые и, может быть, лессовые, но скорее всего пылеватые породы с чрезвычайно разнообразными свойствами.

Примечательно, что скальные грунты, представленные карбонатными, сульфатными и галоидными породами, сцементированными, крупнообломочными и мелкообломочными породами, песчаниками, характеризуются в свойствах степенью литификации, качеством и количеством цемента для последних.

При характеристике деформационных свойств скальных грунтов принимают во внимание модуль деформации E , модуль упругости E_y и модуль общей деформации E_o . Модуль упругости равен отношению напряжения τ при одноосном сжатии к относительной обратимой деформации:

$$e_{обр}/E_y = \tau/e_{обр}.$$

Модуль общей деформации равен отношению напряжений при одноосном сжатии к общей относительной деформации:

$$E_o = \tau/e_o.$$

Для упругодеформируемого материала модуль упругости и модуль общей деформации устанавливаются для определенной величины и продолжительности действия давления.

Модуль упругости и модуль общей деформации зависят от характера грунта и его структуры: для скальных пород $E_y/E_o \approx 2$. Показателем деформационных характеристик скальных грунтов служит также коэффициент Пуассона μ , определяющий, в какой мере происходит изменение объема грунта в процессе деформации.

Коэффициент Пуассона представляет собой собственно характеристику упругой деформации, зависящую в основном от свойств породообразующих минералов. Эта характеристика породообразующих минералов изменяется в широком диапазоне от 0,08 до 0,34, что определяется особенностями кристаллической решетки и направлением реализации напряжений относительно кристаллографических осей. Коэффициент Пуассона зависит от минералогического состава грунта, пористости и трещиноватости.

Кроме отмеченного влияния на свойства скальных грунтов трещиноватости, очень велико воздействие на них степени выветрелости скальных грунтов. Например, степени размягчаемости

в воде скальных грунтов — отношения временных сопротивлений к одноосному сжатию в водонасыщенном R_c и в воздушно-сухом R_s состояниях:

$$k_{sof} = R_c / R_s.$$

Следует отметить, что временное сопротивление грунта, особенно скального, одноосному сжатию, или предел прочности на сжатие $R_{сж}$, является чрезвычайно важной классификационной характеристикой, согласно которой проводится отнесение грунта к скальному (≥ 5 МПа) или нескальному (< 5 МПа). Естественно, эта характеристика описывает грунт в образце в измененных (при отсутствии естественного напряженного состояния) условиях.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ

Одной из важных задач любой науки на определенном этапе ее развития является построение классификации. Большинство ученых доказано, что построение становится возможным только тогда, когда в какой-то области знания уже накоплен достаточный фактический материал, позволяющий выявить общие закономерности развития объекта исследований данной науки. В частности, построение классификации грунтов стало возможным только тогда, когда в определенной мере оформились представления о зависимости инженерно-геологических свойств горных пород от особенностей их состава и строения на основе значительного объема фактического материала. Первые классификации грунтов появились во второй половине XIX в.

Классификации грунтов могут быть общими, частичными, региональными и отраслевыми.

Задача общих классификаций — по возможности охватить все наиболее распространенные типы горных пород и охарактеризовать их как грунты. Такие классификации должны основываться исключительно на генетическом подходе, при котором оказывается возможным связать инженерно-геологические свойства горных пород с их генетическими особенностями и проследить изменение этих свойств от одной группы грунтов к другой. Эти классификации служат базой для разработки всех других видов классификаций.

Частные классификации подразделяют и детально расчленяют грунты на отдельные группы по одному или нескольким признакам. К таким классификациям относятся классификации осадочных, обломочных, песчано-глинистых грунтов по гранулометрическому составу, глинистых пород — по числу пластичности, лессовых пород — по степени просадочности и т. п. Эти класси-

фикации могут быть развитием или составной частью общих классификаций.

Региональные классификации рассматривают грунты применительно к определенной территории. В их основе лежит возрастное и генетическое подразделение пород, встречающихся на данной территории. Разделение групп грунтов проводят, базируясь на формационно-фациальном учении о горных породах.

Отраслевые классификации грунтов составляются применительно к запросам определенного вида строительства. Естественно, такие классификации базируются на положениях более высокого общего ранга их применения для решения вопросов при инженерно-геологической оценке территорий и площадки строительства.

Классификация грунтов отражает их свойства. В настоящее время грунты, согласно ГОСТ 25100—95, разделяют на следующие классы — природные: скальные, дисперсные, мерзлые и техногенные образования. Каждый класс имеет свои подразделения. Так, грунты скальных, дисперсных и мерзлых классов делятся на группы, подгруппы, типы, виды и разновидности, а техногенные грунты вначале разделяются на два подкласса, а далее также на группы, подгруппы, типы, виды и разновидности. Классификация грунтов, согласно ГОСТ 25100—95, в сокращенном виде показана в табл. 15.

Скальные грунты. Их структуры с жесткими кристаллическими связями, например гранит, известняк. Класс включает две группы грунтов: 1) скальные, куда входят три подгруппы пород: магматические, метаморфические, осадочные сцементированные и хемогенные; 2) полускальные в виде двух подгрупп — магматические излившиеся и осадочные породы типа мергеля и гипса. Деление грунтов этого класса на типы основано на особенностях минерального состава: например, силикатного типа — гнейсы, граниты; карбонатного типа — мрамор, хемогенные известняки. Дальнейшее деление грунтов на разновидности проводится по свойствам: по прочности — гранит — очень прочный, вулканический туф — менее прочный; по растворимости в воде — кварцит — очень водостойкий, известняк — неводостойкий.

Дисперсные грунты. В этот класс входят только осадочные горные породы. Класс разделяется на две группы — связных и несвязных грунтов. Для этих грунтов характерны механические и водно-коллоидные структурные связи. Связные грунты делятся на три типа — минеральные (глинистые образования), органо-минеральные (илы, сапропели и др.) и органические (торфы). Несвязные грунты представлены песками и крупнообломочными породами (гравий, щебень и др.). В основу разновидностей грунтов положены плотность, засоленность, гранулометрический состав и другие показатели.

Природные скальные грунты

Класс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид	Разновидность
Скальные грунты (с жесткими структурными связями)	Скальные грунты	Магматические породы	Силикатные	Граниты, базальты, габбро и др.	Выделяются по: 1. Прочности; 2. Плотности; 3. Выветрелости; 4. Водорастворимости; 5. Размягчаемости в воде; 6. Водонепроницаемости; 7. Засоленности; 8. Структурам, текстурам и др.
		Метаморфические породы	Силикатные	Гнейсы, сланцы, кварциты	
			Карбонатные	Мраморы и др.	
			Железистые	Железные руды	
		Осадочные	Силикатные	Песчаники, конгломераты и др.	
			Карбонатные	Известняки, доломиты	
	Подускальные грунты	Магматические эффузивные породы	Силикатные	Вулканические туфы	
		Осадочные породы	Силикатные	Аргиллиты, алевролиты и др.	
			Кремнистые	Опоки, трепелы, диатомиты	
			Карбонатные	Мелы, мергели	
			Сульфатные	Гипсы, ангидриты	
			Галлоидные	Галиты и др.	

Класс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид	Разновидность
Дисперсные грунты (с механическими и водно-коллоидными связями)	Связные грунты	Осадочные породы	Минеральные	Глинистые грунты	Выделяются по: 1. Гранулометрическому составу; 2. Числу пластичности; 3. Набуханию; 4. Просадочности; 5. Водонасыщению; 6. Коэффициенту пористости; 7. Плотности; 8. Содержанию органического вещества; 9. Засоленности; 10. Пучению и т.д.
			Органоминеральные	Илы, сапропели, за торфованные земли	
			Органические	Торф	
	Несвязные грунты	Осадочные породы	Силикатные Карбонатные Полиминеральные	Пески и крупнообломочные грунты	
Мерзлые грунты (с криогенными структурными связями)	Скальные грунты	Промерзшие магматические, метаморфические и осадочные породы	Ледяные минеральные	Все виды грунтов магматических, метаморфических и осадочных	Выделяются по: 1. Льдистости; 2. Температурно-прочностным свойствам; 3. Засоленности; 4. Криогенной текстуре и т.д.
	Полускальные грунты	Промерзшие магматические эффузивные породы. Осадочные породы			
	Связные грунты	Промерзшие осадочные породы	Ледяные, минеральные Ледяные органоминеральные Ледяные органические	Все виды дисперсных связных и несвязных грунтов	

	Ледяные грунты	Внутригрунто- вые	Льды	Ледниковые	
		Погребенные		Наледные, речные, озерные и т.д.	
		Пещерно-жиль- ные		Жильные, пещерные	

Техногенные грунты

Класс	Подкласс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид	Разновидность
Техноген- ные грунты (с различны- ми структур- ными связа- ми)	Скальные грунты	Скальные и полуска- льные грунты	Природные породы в естественном залегании, измененные физиче- ским или физико-хими- ческим воздействием	Силикатные	Граунты, базаль- ты, кварциты, песчаники и др.	Выделяются в со- ответствии с принад- лежностью к тем или иным природным породам или антропо- генным образова- ниям с учетом специ- фических особен- ностей и свойств
				Карбонатные	Мраморы, изве- стняки, мертели и др.	
	Дисперс- ные грунты	Связные грунты	То же	Силикатные, карбонатные, по- лиминеральные, органоминераль- ные и др.	Раздробленные скальные и дис- персные породы (глинистые, пес- чаные и др.)	

Класс	Подкласс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид	Разновидность
Техногенные грунты (с различными структурными связями)	Дисперсные грунты	Несвязные грунты	Природные породы, перемешанные грунты: насыпные; намывные	—	—	
			Антропогенные образования: насыпные; намывные	Отходы производственной и хозяйственной деятельности человека	Городские свалки, строительный мусор, шлаки, золы и др.	
	Мерзлые грунты	Скальные и полускальные грунты	Природные породы в естественном залегании, измененные физическим (тепловым или физико-химическим воздействием)	Те же природные породы, но в мерзлом состоянии	Все представители природных скальных и полускальных пород	Выделяются, как разновидности природных и антропогенных образований с учетом специфических особенностей и свойств
		Связные, несвязные, ледяные грунты	То же	То же	Все виды природных дисперсных пород	
			Перемешанные природные породы, антропогенные образования (насыпные, намывные, намороженные), измененные физическим (тепловым) или физико-химическим воздействием	—	Все виды природных дисперсных пород, бытовые и производственные отходы, шлаки, искусственные льды и т.д.	

Мерзлые грунты. Все грунты имеют криогенные структурные связи, т. е. цементом грунтов является лед. В состав класса входят практически все скальные, полускальные и связные грунты, находящиеся в условиях отрицательных температур. К этим трем группам добавляется группа ледяных грунтов в виде надземных и подземных льдов. Разновидности мерзлых грунтов основываются по льдистым (криогенным) структурам, засоленности, температурно-прочностным свойствам и др.

Техногенные грунты. Эти грунты представляют собой, с одной стороны, природные породы — скальные, дисперсные, мерзлые, которые в каких-либо целях были подвергнуты физическому или физико-химическому воздействию, а с другой стороны, искусственные минеральные и органоминеральные образования, сформировавшиеся в процессе бытовой и производственной деятельности человека. Последние нередко называют антропогенным образованием.

Г л а в а 9

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Как было показано выше, каждый грунт имеет свои, только ему присущие строительные свойства. В оценке свойств грунтов, входящих в расчеты оснований фундаментов, наибольшее значение имеют физико-механические характеристики. Значения показателей этих характеристик позволяют выполнять необходимые расчеты при проектировании зданий и сооружений.

Характеристики *физических* свойств выражают физическое состояние грунтов (плотность, влажность и др.) и позволяют их классифицировать по типу, виду и разновидностям. Под *механическими* подразумевают такие свойства, которые появляются в грунтах под воздействием внешних усилий (давления, удара). Механические свойства оцениваются прочностными и деформационными характеристиками грунтов.

Показатели физических и механических свойств скальных и не-скальных грунтов между собой довольно значительно различаются, особенно физические. Некоторые основные физические и механи-

ческие свойства скальных и нескальных грунтов приведены в табл. 16 и 17.

Таблица 16

Характеристика скальных грунтов

Физическая	Механическая
Плотность ρ , т/м ³	Прочность — сопротивление одноосному сжатию R_c , МПа
Коэффициент размягчения $k_{рз}$	Деформативность — модуль деформации E , МПа
Степень растворимости в воде	
Степень выветрелости $k_{вс}$	
Коэффициент трещиноватости $k_{тр}$	
Пористость n , %	

Таблица 17

Характеристика дисперсных грунтов

Физическая	Механическая
Гранулометрический состав	Прочность:
Плотность, т/м ³ : сухого грунта ρ_d частиц ρ_s	временное сопротивление сжатию R_c , МПа
Влажность природная W	сопротивление сдвигу C (кПа), ϕ (град)
Степень влажности S_r	Деформативность — модуль деформации E , МПа
Пористость n , %	
Коэффициент пористости e	
Число пластичности I_p , %	
Показатель консистенции J	
Коэффициент фильтрации k_f , м/сут	

Нескальные дисперсные грунты характеризуются значительно большим количеством физико-механических свойств, особенно физических, чем скальные грунты. Это связано с их более химико-минеральным составом, разнообразием структур и текстур.

К физическим свойствам нескальных грунтов, определяемых экспериментально и используемых непосредственно в расчетах оснований, относятся коэффициент фильтрации k_f и плотность грунтов ρ . Важными расчетными характеристиками являются коэффициент пористости e , степень влажности S_r и показатель текучести J_L . Они характеризуют состояние грунтов. По наимено-

ванию грунтов и их коэффициенту пористости определяют плотность сложения песчаных грунтов. Показатель текучести J_L характеризует подвижность глинистых частиц при механических воздействиях на грунт. Значение S_r отражает степень заполнения пор грунтов водой.

Прочность грунта оценивается максимальной нагрузкой, приложенной к нему в момент разрушения (потери сплошности). Эта характеристика называется *пределом прочности* R_c , МПа, или временным сопротивлением сжатию.

На прочность грунтов влияют: минеральный состав, характер структурных связей, трещиноватость, степень выветрелости, степень размягчаемости в воде и др. Для нескальных грунтов другой важной характеристикой прочности является *сопротивление сдвигу*. Определение этого показателя необходимо для расчета устойчивости оснований, т. е. несущей способности, а также для оценки устойчивости грунтов в откосах строительных котлованов, расчета давления грунта на подпорные стены и т. д. Сопротивление сдвигу оценивается силами внутреннего сдвига ϕ , град., и сцепления C , кПа. Под первыми понимают силы сопротивления, которые возникают между соприкасающимися друг с другом частями грунта, а под вторыми — сопротивление структурных связей грунта всякому перемещению слагающих частиц.

Деформационные свойства характеризуют поведение грунтов под нагрузками, не превышающими критические и не приводящими к разрушению. Деформируемость грунтов зависит как от сопротивляемости и податливости структурных связей, пористости, так и от способности деформироваться слагающих их минералов. Деформационные свойства грунтов оцениваются модулем деформации E , МПа.

Следует отметить, что кроме физико-механических характеристик свойства грунтов во многом зависят от ряда других показателей. Большое влияние могут оказывать состав минералов, характеристики структур и текстур, а для нескальных грунтов — присутствие водорастворимых солей и органических веществ. При оценке свойств грунтов все эти их особенности необходимо учитывать.

Для решения задач проектирования зданий и сооружений все физико-механические характеристики грунтовых оснований разделяют на две группы:

1) показатели физико-механических свойств, которые используются непосредственно в расчетах оснований и 2) вспомогательные показатели, с помощью которых осуществляют классификацию грунтов, прогнозируются механические характеристики

первой группы, выделяются инженерно-геологические элементы в толще грунтов. Характеристики грунтов, используемые в расчетах оснований, приведены в табл. 18. Вспомогательные характеристики, которые отражают физические свойства грунтов, показаны в табл. 19.

Таблица 18

Характеристики физико-механических свойств грунтов, используемых в расчетах оснований фундаментов

Характеристика	Способ определения	Расчеты, в которых используются характеристики
Модуль общей деформации E , МПа	Полевые работы (штамповые и прессиометрические) и лабораторные исследования (компрессионные и стабилметрические испытания) грунтов	Расчет по деформациям грунтов
Удельное сопротивление C , кПа, и угол внутреннего трения ϕ , град	Сдвиговые характеристики грунтов: 1) полевые работы — срез целиком грунта, вращательный срез, зондирование; 2) лабораторные исследования в приборе плоского среза, в стабилметре	Расчет по деформациям и по несущей способности грунтов
Табличное значение расчетного сопротивления грунтов R_0 , кПа	По таблицам СНиП 2.02.01—83	При определении ориентировочных размеров подошвы фундаментов
Коэффициент фильтрации k_f , м/сут	Полевые (опытные откачки воды для водонасыщенных и наливов воды для сухих грунтов) и лабораторные работы	Расчет стабилизации осадок зданий и сооружений
Плотность грунта ρ , т/м ³ или г/см ³ (отношение массы образца к его объему)	Лабораторные работы по ГОСТ 5180—84	Расчет по деформациям и по несущей способности грунтов. В этих работах используют показатель γ

Примечание. Показатели E , C и γ можно определять и по таблицам.

Таблица 19

Вспомогательные характеристики, отражающие физические свойства дисперсных грунтов

Характеристика	Способ определения в лаборатории или по расчетной формуле
Гранулометрический состав грунтов, мм	Определение зернового и микроагрегатного состава в лаборатории по ГОСТ 12 536—79
Влажность природная W	В лаборатории по ГОСТ 5180—84

Характеристика	Способ определения в лаборатории или по расчетной формуле
Степень влажности S_r	$S_r = W_p / c\rho_w$ или $S_r = W \gamma / e \gamma_w$, где ρ_w и γ_w — соответственно плотность и удельный вес воды; $\rho_w = 1$ г/см ³ , $\gamma_w = 1$ кН/м ³ В лаборатории по ГОСТ 5180—84
Влажность на границе текучести только для пылеватоглинистых грунтов W_L , доли ед. или %	ГОСТ 5180—84
Влажность на границе раскатывания (пластичности) для глинистых грунтов W_p , доли ед. или %	
Число пластичности J_p	$J_p = W_L - W_p$
Показатель текучести J_L	$J_L = (W - W_p) / (W_L - W_p)$
Коэффициент пористости e	$e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$ или $e = ((1 + W) \gamma_s / \gamma) - 1$
Плотность ρ_s , т/м ³ или г/см ³ , и удельный вес твердых частиц грунта γ_s , кН/м ³	В лаборатории по ГОСТ 5180—84 $\gamma_s = \rho_s g$, где g — ускорение свободного падения
Плотность ρ_d , т/м ³ или г/см ³	

Кроме указанных характеристик на свойства грунтов во многих случаях существенное влияние оказывают минеральный и химический составы, структуры и текстуры, для скальных грунтов — трещиноватость, степень выветрелости, для дисперсных — содержание водорастворимых солей, присутствие органического вещества и т. д. Так, большое количество минерала монтмориллонита придает глинам особые свойства, большое количество гумуса типично почвам и т. д. Все эти характеристики грунтов определяют специалисты (геологи, физики, химики) в соответствующих лабораториях, где имеется необходимая аппаратура — рентгеновские приборы, электронные и геологические микроскопы, дериватографы, установки ИКС и др.

Реологические свойства грунтов. При оценке свойств грунтов следует помнить, что эти свойства могут изменяться во времени в силу воздействия процессов выветривания и многолетнего воздействия больших нагрузок. Все это приводит к «усталости» грунтов, их структура «расслабляется». В грунтах возникают деформации в виде ползучести и даже текучести. Этот процесс называют реологическим. В результате грунт разрушается, и здание деформируется. В последнее десятилетие этот процесс часто наблюдается при строительстве сверхвысоких зданий и крупных промышленных объектов. Реологические свойства грунтов требуют специальной оценки и исследований.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

Грунты определяют устойчивость возводимых на них зданий и сооружений, поэтому необходимо правильно определять характеристики, которые обуславливают прочность и устойчивость грунтов при их взаимодействии со строительными объектами.

Химико-минеральный состав, структуры и текстуры грунтов, содержание органического вещества определяются в геологических лабораториях, оснащенных необходимой аппаратурой (рентген, электронный микроскоп и т. д.). Физико-механические свойства грунтов изучают в грунтоведческих лабораториях и в полевых условиях, т. е. непосредственно на будущих строительных площадках. Методика определения физико-механических свойств выбирается в зависимости от состава и состояния грунтов, условий их поведения в основании как при строительстве, так и в процессе эксплуатации зданий и сооружений. Особое внимание при этом обращается на достоверность получаемых результатов, так как грунты и грунтовые напластования весьма изменчивы в пространстве и во времени.

По каждой физико-механической характеристике грунтов выполняется несколько определений и проводится их статистический анализ. Количество определений зависит от характера грунтов, назначения сооружения и его конструктивных особенностей. В частности, как правило, для каждого инженерно-геологического элемента минимальное количество определений должно быть не менее шести и только в случаях продолжительных полевых испытаний значения механических характеристик устанавливается по данным трех испытаний.

Грунтоведческая лаборатория. Образцы грунтов для лабораторных исследований отбираются по слоям грунтов в шурфах, в буровых скважинах, которые располагают на исследуемых строительных площадках.

В лабораторию образцы грунтов доставляют в виде монолитов или рыхлых проб. Монолиты — это образцы грунтов с ненарушенной структурой. Такие монолиты отбирают в скальных и связных (пылевато-глинистых) грунтах. Размеры монолитов должны быть не меньше установленных норм. Так, для определения сжимаемости грунта, пробы, отбираемые в шурфах, должны иметь размеры $20 \times 20 \times 20$ см. В монолитах пылевато-глинистых грунтов при этом должна быть сохранена природная влажность. Это достигается созданием на их поверхности водонепроницаемой парафиновой или восковой (иногда битумной) оболочки. В рыхлых грунтах (песок, гравий и т. д.) образцы отбирают в виде

проб определенной массы. Так, для проведения гранулометрического анализа песка необходимо иметь пробу не менее 0,5 кг.

В лабораторных условиях можно определять все физико-механические свойства грунтов. Каждая характеристика этих свойств определяется согласно своему ГОСТу, например, природная влажность и плотность грунта — ГОСТ 5180—84, предел прочности — ГОСТ 17245—79, гранулометрический (зерновой) и микроагрегатный состав — ГОСТ 12536—79 и т. д.

Лабораторные исследования на сегодня остаются основным видом определения физико-механических свойств грунтов. Ряд характеристик, например, природная влажность, плотность частиц грунта и некоторые другие определяются только в лабораторных условиях и с достаточно высокой точностью. В то же время лабораторные исследования грунтов имеют свои недостатки:

- они довольно трудоемки и требуют больших затрат времени;
- результаты отдельных анализов, например определение модуля общей деформации, не дает достаточно точных результатов, что бывает связано с неправильным отбором монолитов, неправильным их хранением, низкой квалификацией исполнителя анализа;
- определение свойств массива грунта по результатам анализов небольшого количества образцов не позволяют получать верное представление о его свойствах в целом.

Это связано с тем, что однотипные грунты, даже в пределах одного массива, все же имеют известные различия в своих свойствах.

Полевые работы. Исследование грунтов в полевых условиях, т. е. на исследуемой строительной площадке, дает определенное преимущество перед лабораторным анализом. Это позволяет определять значения характеристик физико-механических свойств в условиях естественного залегания грунтов без разрушения их структуры и текстуры, с сохранением режима влажности. При полевых исследованиях лучше, чем по результатам лабораторных анализов, моделируется работа массивов грунтов в основаниях зданий и сооружений.

Полевые методы исследования грунтов обеспечивают высокую точность результатов, поэтому в последние годы их используют все больше. При этом совершенствуется техническая оснащенность, применяются ЭВМ. Некоторые полевые методы относятся к экспресс-методам, что позволяет быстрее получать результаты изучения свойств грунтов.

Необходимо отметить, что если полевые методы дают хорошую возможность определять свойства в условиях естественного залегания грунтов, то они не всегда позволяют прогнозировать поведение массивов грунтов на период эксплуатации зданий и

сооружений. Поэтому целесообразно разумно сочетать лабораторные и полевые методы.

В полевых условиях определяют все прочностные и деформационные характеристики как скальных, так и нескальных грунтов.

Среди методов деформационных испытаний грунтов на сжимаемость эталонным следует считать метод *полевых штамповых испытаний* (ГОСТ 20278—85). Результаты других методов деформационных испытаний, как полевых (прессиометрия, динамическое и статическое зондирование), так и лабораторных (компрессионные и стабилометрические) обязательно должны сопоставляться с результатами штамповых испытаний.

При определении прочностных характеристик грунтов наиболее достоверные результаты дают полевые испытания на срез целиков грунта непосредственно на строительной площадке (ГОСТ 23741—79). Из-за высокой стоимости и трудоемкости этих работ их проводят только для сооружений I класса применительно к расчетам по несущей способности. К I классу относятся здания и сооружения, имеющие большое хозяйственное значение, социальные объекты, объекты, требующие повышенной надежности (главные корпуса ТЭС, АЭС, телевизионные башни, промышленные трубы высотой более 200 м, здания театров, цирков, рынков, учебных заведений и т. д.). Для других случаев строительства (II и III классы сооружений) достаточно надежные показатели C и ϕ получают в результате лабораторных испытаний грунтов в приборах плоского среза (ГОСТ 12248—78) и трехосного сжатия (ГОСТ 26518—85).

Прочностные характеристики можно также определять по методу лопастного зондирования. Результаты этой работы при проектировании ответственных сооружений сопоставляют со сдвиговыми испытаниями. Это обеспечивает достаточную достоверность результатов исследований.

Ниже приводится краткое описание полевых методов исследований, с помощью которых определяются механические характеристики грунтов, показываются примеры выявления свойств грунтов с помощью производства опытных строительных работ.

Деформационные испытания грунтов. Сжимаемость грунтов изучают методами штампов, прессиометрами, динамическим и статическим зондированием.

Метод штампов. В нескальных грунтах на дне шурфов или в забое буровых скважин устанавливают штампы, на которые передаются статические нагрузки (ГОСТ 20276—85). *Штамп в шурфе* — это стальная или железобетонная плита. Форма штампа находится в зависимости от фундамента, который он моделирует, и может быть различной, но чаще всего плита круглая площадью

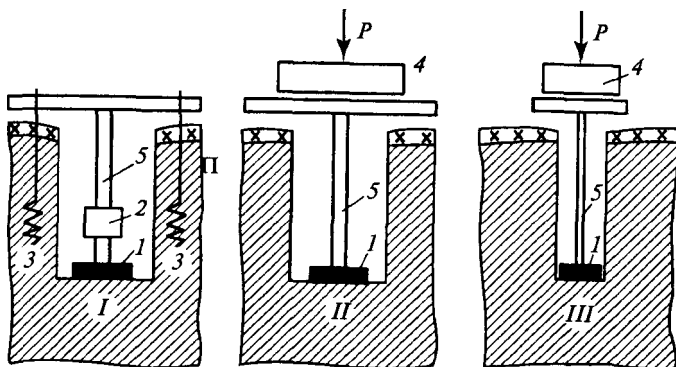


Рис. 51. Определение сжимаемости грунтов штампами:

I и II — шурфы; III — буровые скважины; 1 — штамп; 2 — домкрат; 3 — анкерные сваи; 4 — платформы с грузом; 5 — штанга

5000 см². Для создания под штампом заданного напряжения применяют домкраты или платформы с грузом (рис. 51). Осадку штампов измеряют прогибомерами. При проходке шурфа на отметке подошвы штампа и вне его отбирают образцы грунтов для параллельных лабораторных исследований. Нагружение штампа производят ступенями и выдерживают определенное время. Значение нагрузки устанавливается в зависимости от вида грунта и его состояния. В итоге работы строят графики:

- зависимости осадки штампа от давления;
- осадки штампа во времени по ступеням нагрузки. После этого по формуле вычисляют модуль деформации грунта E , МПа.

Штамп в буровой скважине. Для производства работ бурят скважину диаметром более 320 мм. Испытание грунтов проводят специальными установками, которые дают возможность работать на глубине скважины до 20 м. На забой скважины опускают штамп площадью 600 см². Нагрузка на штамп передается через штангу, на которой располагается платформа с грузом. Модуль деформации определяют по формуле.

Определение модуля деформации в массиве скального грунта проводят в опытных котлованах. Испытания ведут с помощью прибетонированных к скале бетонных штампов. Давление на штампы подается от гидравлических домкратов (до 10 МПа). Конечным результатом работы является определение модуля деформации скального грунта по соответствующей формуле.

Прессиометрические исследования проводят в глинистых грунтах с помощью разведочных скважин. Прессиометр представляет собой резиновую цилиндрическую камеру, которую опускают в

скважину на заданную глубину. Камеру расширяют давлением жидкости или газа. В процессе работы в стенках скважины измеряют радиальное перемещение грунта и давление. Это позволяет определять модуль деформации грунтов.

Зондирование (или пенетрация) используется для изучения толщ пород до глубины 15—20 м. Сущность метода заключается в определении сопротивления проникновению в грунт металлического наконечника (зонда). Зондирование дает представление о плотности и прочности грунтов на определенной глубине и характеризует изменение в вертикальном разрезе.

Зондирование относится к экспресс-методам определения механических свойств грунтов и применяется в целях ускоренного получения результатов исследований. Этот метод используется при изучении песчаных, глинистых и органогенных грунтов, которые не содержат или мало содержат примесей щебня или гальки. По способу погружения наконечника различают зондирование динамическое и статическое. При статическом зондировании конус в грунт задавливается плавно, а при динамическом его забивают молотом.

Статическое зондирование позволяет:

- расчленил толщу грунта на отдельные слои;
- определить глубину залегания скальных и крупнообломочных грунтов;
- установить приблизительно плотность песков, консистенцию глинистых грунтов, определить модуль деформации;
- оценить качество искусственно уплотненных грунтов в насыпях и намывных образованиях;
- измерить мощность органогенных грунтов на болотах.

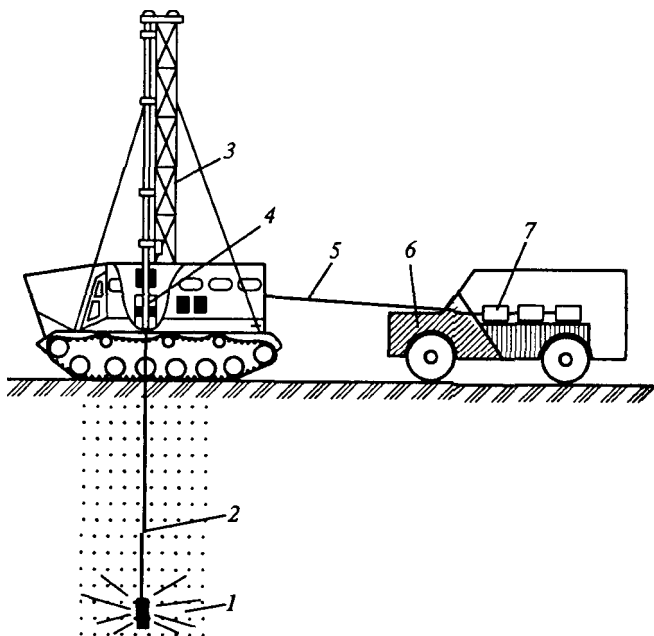
Динамическое зондирование дает возможность определять:

- мощность толщ современных (четвертичных) отложений;
- границы между слоями;
- степень уплотнения насыпных и намывных грунтов.

На рис. 52 показана пенетрационно-каротажная станция.

Прочностные испытания грунтов. Оценка сопротивления грунтов сдвигу в полевых условиях выполняется как в скальных, так и в нескальных грунтах. Сопротивление грунтов сдвигу определяется предельными значениями напряжений, при которых начинается их разрушение.

В *скальных грунтах* опыты проводят в строительных котлованах, в которых оставляют целики в виде ненарушенного грунта столбчатого вида. К целикам прикладывают горизонтальное сдвигающее усилие. При этом для правильного определения внутреннего трения и удельного сцепления опыт проводят не менее чем на трех столбчатых целиках.



Р и с. 52. Пенетрационно-каротажная станция:

1 — зонд-датчик; 2 — штанга; 3 — мачта; 4 — гидроцилиндр; 5 — канал связи; 6 — передвижная аппаратная станция; 7 — пульт управления

Сдвиг в *нескальных грунтах* выполняют двумя способами: 1) на целиках; 2) с помощью вращательных срезов при кручении крыльчатки. Работа на целиках аналогична скальным грунтам. Крыльчатка представляет собой лопастной прибор и используется для определения сопротивления сдвигу в пылевато-глинистых грунтах. Крыльчатый четырехлопастной зонд опускают в забой скважины, вдавливают в грунт и поворачивают. При этом замеряют крутящий момент и рассчитывают сопротивление сдвигу.

Опытные строительные работы. При строительстве объектов I класса полевые исследования грунтов приобретают особо важное значение. В ряде случаев прибегают к опытным строительным работам, т. е. к испытаниям грунтов строительными конструкциями. Приведем примеры таких работ.

Опытные сваи. В пылевато-глинистый грунт строительной площадки забивают железобетонную сваю, при этом наблюдают за характером погружения сваи и сопротивляемостью грунта. На сваю дают нагрузку и определяют ее несущую способность, как в условиях природной влажности грунта, так и при его замачива-

нии. Результаты испытаний сравнивают с расчетными данными, полученными на основе лабораторных исследований грунта.

Опытные фундаменты. Строят фундамент будущего здания в натуральную величину и на проектную глубину. На фундамент дают нагрузку, соответствующую нагрузке от будущего здания, и ведут наблюдения за сжатием грунта основания. Так определяется реальная несущая способность грунта и осадка будущего объекта.

Опытные здания. Лессовые грунты обладают просадочными свойствами. Количественную оценку этих свойств производят по данным лабораторных исследований и полевых испытаний грунтов. Несмотря на такую комплексную оценку просадочных свойств не всегда удается правильно оценить будущую устойчивость здания. Для решения этого вопроса строят здания в натуральную величину. Лессовые основания насыщают водой, что искусственно вызывает просадочный процесс. В этот период проводят наблюдения за характером развития просадочного процесса, определяют значения просадок, оценивают состояние конструкций зданий.

Обработка результатов исследований грунтов. Оценка свойств массивов грунтов проводят на основе физико-механических характеристик, которые получают по нормативным документам, в результате лабораторных исследований отдельных образцов грунтов и полевых работ на территории массива. Полученные в лаборатории и в поле характеристики отвечают только тем точкам, где были отобраны образцы и проведены полевые испытания грунтов. В связи с этим разрозненные результаты исследований и нормативные показатели необходимо обобщить, т. е. статистически обработать с целью получения усредненных значений и установления их применимости для всего массива грунта. После такой обработки результаты исследований можно использовать в расчетах оснований. Такую работу чаще всего выполняют методом математической статистики.

Стационарные наблюдения при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях проводят за развитием неблагоприятных геологических процессов (карстом, оползнями и др.), режимом подземных вод и температурным режимом многолетнемерзлых пород. Заключаются они в выборе характерных участков для наблюдений, установке сети реперов, инструментальных наблюдениях за их перемещением и т. д. Наблюдения ведут в период эксплуатации зданий и сооружений, но они могут быть начаты и в период их проектирования. Продолжительность работ — до 1 года и более.

Глава 10

ХАРАКТЕРИСТИКА КЛАССОВ ГРУНТОВ

Каждый грунт имеет свои свойства. Это находит отражение в определенных нормативах и технических условиях на строительство.

ПРИРОДНЫЕ СКАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ

На равнинах скальные грунты обычно располагаются на некоторой глубине под толщей осадочных пород, на поверхность земли они выходят редко. Широкое развитие эти грунты имеют в горных районах, где располагаются на поверхности земной коры.

Скальные грунты обладают монолитностью и состоят из кристаллов минералов и их обломков, либо из обломков тех или иных горных пород. Эти грунты всегда находятся в плотном состоянии и имеют высокую прочность за счет кристаллических структурных связей. В массивах скальные грунты имеют трещины, возникающие в процессе генезиса этих пород и в результате тектонических движений земной коры.

Верхняя часть массивов, контактирующая с атмосферой, обычно бывает разрушена вследствие воздействия процесса выветривания. Эта разрушенная зона называется *корой выветривания* и характеризуется величиной $k_{вс}$ — степенью выветрелости, которая определяется сопоставлением плотности выветрелого скального грунта с «материнской» (невыветрелой) частью скального массива.

Скальные грунты в силу глубокого залегания в земной коре редко служат основанием зданий и сооружений. Когда это происходит, то объекты лучше опирать на «материнский» скальный грунт, т.е. фундаменты должны прорезать кору выветривания. Фундаменты можно опирать и на кору выветривания, но для этого ее следует упрочнять каким-либо методом технической мелиорации грунтов.

При строительстве на скальных грунтах следует учитывать, что:

- в целом скальные грунты по своим свойствам довольно однотипны, но между ними имеются определенные различия (табл. 20). Различия в свойствах скальных грунтов можно видеть на примере максимальных значений временных сопротивлений сжатию R_c , МПа: гранит — до 400, кварцит — до 570, хемогенный известняк — до 200, мергель — до 42, кремнистый песчаник — до 17, глинистый песчаник — до 1,6;

• скальные грунты при небольших нагрузках, например от гражданских зданий, практически не сжимаются, но под воздействием очень больших нагрузок и в течение длительного времени они могут проявлять реологические свойства;

• для скальных грунтов, которые способны к растворению в воде, необходимо устанавливать *степень растворимости*. По растворимости их разделяют на три группы: *труднорастворимые* — известняки, доломиты, известковые конгломераты и песчаники; *среднерастворимые* — гипс, ангидрит, гипсоносные конгломераты; *легкорастворимые* — каменная соль.

Таблица 20

Свойства скальных грунтов

Характеристика свойств	Состояние грунтов	Показатели характеристик
Временное сопротивление одноосному сжатию R_c , МПа	Очень прочные Прочные Средней прочности Малопрочные Полускальные	$R_c > 120$ $120 \geq R_c > 50$ $50 \geq R_c > 15$ $15 \geq R_c > 5$ $R_c < 5$
Коэффициент размягчаемости в воде k_{pz}	Неразмягчаемые Размягчаемые	$k_{pz} \geq 0,75$ $k_{pz} < 0,75$
Степень выветрелости $k_{вс}$	Невыветрелые (монолитные)	Грунты залегают в виде сплошного массива, $k_{вс} = 1$
	Слабовыветрелые (трещиноватые)	Грунты залегают в виде глыб, $1 \geq k_{вс} \geq 0,9$
	Выветрелые	Грунты залегают в виде курков с переходом в трещиноватую скалу, $0,9 \geq k_{вс} \geq 0,8$
	Сильнотрещиноватые	Грунты во всем массиве залегают в виде кусков, $k_{вс} < 0,8$

Примечание. Значения R_c даны в мегапаскалях.

В полускальных грунтах достаточно высокими прочностными качествами обладают вулканический туф, мергели, аргиллиты, алевролиты. Другие полускальные грунты, такие, как мел, трепелы, гипсы, основное назначение имеют как сырье для получения строительных материалов и изделий.

ПРИРОДНЫЕ ДИСПЕРСНЫЕ ГРУНТЫ

Грунты этого класса имеют самое широкое распространение на поверхности земной коры, именно с ними практически постоянно связано строительство самых разнообразных объектов.

Дисперсные грунты обладают механическими и водноколлоидными связями. Обломки и частицы дисперсных грунтов находятся в механическом взаимодействии, например, как в сухом песке, или связаны друг с другом с помощью пленок воды, как в мокром песке или глине. В этот класс входят две группы:

- несвязные грунты (с «механическими связями») — обломочные осадочные породы в виде крупнообломочных образований и песков;

- связные грунты (с водноколлоидными связями) — осадочные породы в виде минеральных (глинистых), органоминеральных и органических образований.

Ниже дается общая характеристика дисперсных грунтов по гранулометрическому и фазовому составу, и далее показываются свойства типов этих грунтов и свойства разновидностей, из которых в качестве примера покажем только засоленные грунты.

Гранулометрический состав определяется специальными методами. Так, крупнообломочные и песчаные грунты анализируются с помощью набора стандартных сит, имеющих различные отверстия. После рассева фракции взвешиваются и устанавливается их процентное соотношение. Гранулометрический анализ глинистых грунтов проводят с помощью специальных и достаточно сложных методов. Это позволяет установить литологические типы глинистых грунтов (супеси, суглинки, глины) и их разновидности, например, суглинки легкие, средние и тяжелые.

Гранулометрический состав широко используется при решении многих вопросов при улучшении свойств грунтов.

Фазовый состав. Дисперсные грунты как мерзлые, так и техногенные состоят из твердой части (обломки горных пород и частицы минералов), газообразной (воздух атмосферы), жидкой (вода) и органической массы. Твердая часть является скелетом грунта. В его порах, т. е. в промежутках между частицами (обломками), размещаются воздух, вода и органическое вещество. В органоминеральных грунтах картина иная. В них основной массой является органический материал, который представляет собой «скелетную» часть грунта. В этом скелете размещаются вода, отдельные минералы и отчасти воздух.

Грунты имеют различный фазовый состав. Так, сухой песок представляет собой сочетание двух фаз — твердой и газообразной, мокрый песок — три фазы (твердая, воздух, вода), почвы — четыре фазы (твердая, воздух, вода, гумус).

Свойства дисперсных грунтов, особенно песчаных и глинистых, в значительной мере зависят от фазового состава и количественных взаимоотношений фаз. Так, глинистый грунт обычно состоит из трех фаз. В слабовлажной глине вода представлена

малым количеством, а в глине текучего состояния воды очень много и она придает глине другие свойства. Значение фазового состава широко используется при выборе методов улучшения свойств грунтов.

Свойства несвязных грунтов

Крупнообломочные грунты (обломки горных пород размером более 2 мм) — дресва, гравий, галечник. Эти грунты залегают локальными массивами, имеют небольшую мощность, располагаются в основном в долинах рек, на берегах морей. Для этих грунтов характерна «механическая» связь обломков друг с другом. Свойства этих грунтов зависят от сложения и петрографического состава обломков. Обломки могут быть представлены любой горной породой. Это чаще всего магматические и метаморфические породы, а из осадочных пород — хемогенные известняки, мергели, песчаники.

В табл. 21 показаны разновидности крупнообломочных грунтов из окатанных обломков. Наименования этим грунтам даются по названию преобладающих обломков по крупности — валунные, галечниковые, гравийные.

Таблица 21

Разновидности крупнообломочных грунтов из окатанных обломков

Грунт	Преобладающие обломки по крупности
Валунный (при преобладании неокатанных обломков — глыбовый)	Масса обломков крупнее 200 мм составляет более 50 % массы воздушно-сухого грунта
Галечниковый (при преобладании неокатанных обломков — щебенистый)	То же для обломков крупнее 10 мм
Гравийный (при преобладании неокатанных обломков — дресвяный)	То же для обломков крупнее 2 мм

Сложение обломков. Пористость крупнообломочных грунтов обычно не превышает 40 %. Поры (пустоты) могут быть заполнены воздухом и водой, но встречаются также грунты, поры которых заполнены песчаными, пылеватыми и глинистыми частицами. В этом случае пористость снижается до 25—30 %. При наличии такого заполнителя более 30 % (по массе воздушно-сухого грунта) к наименованию грунта добавляется название заполнителя, например глинистый гравий. Грунты без заполнителя имеют большую водопроницаемость ($k_f > 100$ м/сут); за счет воздействия движущейся воды грунты могут доуплотниться даже из рыхлого в плотное состояние.

Прочность и водостойкость крупнообломочных грунтов зависит от петрографического состава обломков, например, щебень (или гравий) представлен магматическими породами, а в другом случае, это известняк или мергель, которые имеют невысокую прочность, неводостойки. На деформационные показатели сильно сказывается степень выветрелости обломков. В сильно выветрелых крупнообломочных грунтах модуль деформации значительно ниже. Так, если коэффициент выветрелости не превышает 0,5, грунты относятся к невыветрелым; при 0,5—0,75 — к слабыветрелым и при 0,75—1 — к сильновыветрелым. С увеличением этого коэффициента модуль деформации значительно уменьшается. В невыветрелых грунтах влажность на деформационные характеристики практически не влияет, но в сильновыветрелых грунтах она существенно понижает модули деформации. Степень выветрелости также оказывает влияние на угол внутреннего трения и сцепления. Так, при росте коэффициента выветрелости от 0,45 до 0,75 угол внутреннего трения снижается с 28 до 22°, а сцепление от 0,035 до 0,027 МПа.

Крупнообломочные грунты являются хорошим основанием для зданий и сооружений, при плотном сложении под нагрузкой не уплотняются, но при большом содержании глинистого материала появляется тенденция к сжимаемости. При сильных землетрясениях водонасыщенные крупнообломочные грунты могут терять устойчивость, что сказывается на надежности объектов.

Инженерно-геологическая характеристика крупнообломочных нецементированных пород. Крупнообломочные породы представляют собой преимущественно обломки пород размером более 2 мм. Обломки эти нецементированы и аналогичны во взаимодействии друг с другом песчаным грунтам, т. е. в них отсутствуют связи, характерные для глинистых грунтов и грунтов с жесткими кристаллизационными связями. Обломки пород, в основном определяющие свойства и поведение грунтов под сооружениями, могут иметь различный петрографический состав и различную форму, степень обработанности, что, с одной стороны, определяется составом пород, а с другой (и это главное) — генезисом крупнообломочных пород.

Элювиальные крупнообломочные грунты и их инженерно-геологическая оценка. Крупнообломочный элювий формируется под влиянием факторов физического выветривания и образует скопления крупных обломков горных пород на месте их разрушения. Он обычно состоит из угловатых остроугольных глыб, форма и размер которых в основном зависят от структурно-текстурных особенностей выветривающихся пород. Плотные мелкозернистые и скрытокристаллические породы дают неправильные угловатые

осколки, их размер и форма зависят главным образом от пространственного расположения тончайших трещинок, пронизывающих массив выветривающихся пород. Крупнозернистые породы чаще всего рассыпаются в дресву, для них характерна минеральная дезинтеграция. Метаморфические сланцеватые породы (различные сланцы, мелкозернистые гнейсы) распадаются на тонкие пластинки.

По петрографическому составу обломочный элювий мало отличается от материнской породы, на которой залегает. Однако по своим свойствам он качественно иной.

В том случае, когда выветриванию подвержены породы, залегающие на крутых склонах, в разрушении их играет огромную роль такой мощный фактор, как сила гравитации. Под ее влиянием обломки горных пород скатываются вниз, падают и от ударов, получаемых ими при скатывании и падении, еще больше размельчаются. Скопления таких масс представляют собой своеобразные гравитационные образования крупнообломочных грунтов. Одним из видов гравитационных отложений является осыпь, представляющая собой скопления скатившихся, совершенно необработанных различных по размерам обломков у подножия склонов. В отличие от чисто элювиальных крупнообломочных грунтов для осыпи характерно наличие слабой сортировки продуктов выветривания по их крупности: более крупные камни и щебень скатываются к подножию склона — к основанию осыпи. Крутизна осыпи отвечает углу естественного откоса слагающего ее крупнообломочного материала. Этот материал, как правило, имеет рыхлое сложение в верхних частях разреза осыпи, в нем отсутствует какой-либо заполнитель, водопроницаемость осыпи чрезвычайно высока.

Образование неотсортированных щебенистых и каменистых (глыбовых) осыпей на склонах и у подножия гор может происходить также путем обвалов, когда скапливается большая масса беспорядочного нагроможденного материала различного размера. Мощность таких отложений зависит от высоты гор, крутизны склонов, частоты и силы обвалов и других причин.

Инженерно-геологическая характеристика отложений временных водных потоков. Под влиянием деятельности вод, стекающих с гор, крупнообломочный материал постепенно приобретает (в процессе перемещения при перекачивании и соударениях) различную степень обработанности и некоторую сортировку. Мощные временные потоки, выбегающие из горных долин на равнину, откладывают при своем выходе на нее обширные конуса выноса, которые по существу являются одной из *фаций* пролювия. Одной из разновидностей его являются селевые отложе-

ния — результат аккумулярующей деятельности грязекаменных потоков, перегруженных твердым материалом до состояния полужидкой вязкой массы.

Проллювиальные крупнообломочные грунты и отложения конусов выноса и особенно селевые образования характеризуются очень слабой отсортированностью и обработанностью. В них наряду с крупным валунником (валуны часто расколоты), галечником и гравием содержится песчаный, пылеватый и глинистый материал, заполняющий промежутки между крупными обломками. Быстрое отложение сносимого со склонов материала при резком уменьшении скорости течения воды у их подножья обуславливает формирование беспорядочной или грубой косослоистой текстуры с неправильным чередованием линз и прослоев разного состава и разных свойств. Нередко косая слоистость приобретает форму правильно повторяющихся горизонтальных и косых серий. Общая пористость рассматриваемых крупнообломочных грунтов может быть очень низкой (15—20 %). Уплотнению и увеличению прочности материала крупнообломочных отложений кроме разнородности по крупности способствует глубокое и длительное просыхание с образованием прочных цементационных связей между обломками. В отличие от промытых аллювиальных отложений проллювиальные и особенно селевые отложения могут содержать водорастворимые соли. Такие примеси особенно характерны для рек с так называемым периодическим течением в условиях жаркого аридного климата.

Инженерно-геологические особенности аллювиальных крупнообломочных отложений. Аллювиальные крупнообломочные грунты достаточно широко распространены в долинах горных рек, которые, как правило, обладают быстрым течением, способным переносить крупный обломочный материал. Например, для того чтобы рекой могли перемещаться полутонные глыбы, скорость течения ее должна равняться 4,4 м/с. В соответствии с этим аллювий горных рек представлен валунами, галькой и гравием, с содержанием в ряде случаев песчаного заполнителя. Глинистых частиц и органических остатков и образований среди них нет. Грубообломочный состав определяет чрезвычайно высокую водопроницаемость толщ отложений (до 100 м/сут), их несжимаемость под нагрузкой и высокое сопротивление сдвигу.

Крупнообломочный аллювий встречается и у равнинных рек. В их долинах особенно широко распространены гравийные, реже галечниковые образования, слагающие обычно нижние части аллювиальных толщ. Более крупные разности имеют спорадическое распространение. Общим признаком крупнообломочных русловых образований равнинных рек является незначительное содержание

в них пылеватых и глинистых частиц, которые непрерывно вымываются и выносятся речными водами. В качестве заполнителя обычно присутствует песчаный материал. Как правило, наиболее крупный гравийный и галечниковый материал залегает в верховьях, а более мелкий — в низовьях рек, в этом же направлении увеличивается степень обработанности обломков. В общей схеме залегания этих образований крупные гравийные частицы обычно перекрыты сверху более мелкими. Это объясняется тем, что по мере выработки продольного вертикального профиля долины реки постепенно уменьшается и уклон, что вызывает снижение скорости течения, в соответствии с чем происходит изменение крупности частиц осадка.

Крупнообломочные аллювиальные грунты равнинных рек представлены окатанными обломками прочных крепких пород, нестойкие и слабые обломки, как правило, отсутствуют. Они имеют достаточно плотное сложение, высокую водопроницаемость и являются практически несжимаемыми грунтами при нагрузках, возникающих в строительной практике.

Морские крупнообломочные отложения и их инженерно-геологическая оценка. Образование морских крупнообломочных грунтов связано в основном с разрушением берегов морей вследствие тектонических движений земной коры и разрушающей деятельности морских волн и отчасти течений (процесс абразии). Волны, сила удара которых может достигать 10 т/м^2 , дробят в берегах самые прочные кристаллические породы и, захватывая образующиеся из них обломки, перемещают, обрабатывают и откладывают их у подножья крутого берега на подводной и надводной поверхностях берега. Здесь, особенно в зоне прибоя, обломки находятся в постоянном движении. Благодаря трению друг о друга, обломки горных пород берега хорошо окатываются и отшлифовываются, приобретают округлую или, что чаще, несколько уплощенную, плоско-вытянутую форму. Постоянное воздействие прибоя обуславливает хорошую отсортированность морских галечников: они практически лишены какого-либо заполнителя, что определяет их высокую водопроницаемость. Морские галечниковые отложения часто характеризуются «бутовой текстурой» с плотным расположением галек. Практически несжимаемые, они тем не менее могут обладать пониженным сопротивлением сдвигу. Невысокие прочностные показатели являются следствием морфологических особенностей морских галечников: высокообработанных весьма округлых по форме с тщательно отшлифованной мягкой трением в воде поверхностью галек.

Морские грубообломочные отложения, формирующиеся на значительных глубинах (до 600—800 м) и на большом удалении от

берега, отличаются плохой сортированностью, низкой обработанностью, содержат значительное количество мелкозернистого материала, наличие которого существенно снижает водопроницаемость всей толщи грунта. Глубоководные морские крупнообломочные грунты обладают своеобразной псевдопорфировой текстурой, в большинстве случаев для них определяющим является то или иное свойство заполнителя. Зачастую появление крупных обломков в глубоких зонах моря связано с айсберговым разносом.

Озерные крупнообломочные грунты, имеющие незначительное распространение, по своим текстурно-структурным особенностям и свойствам близки к морским галечникам, формирующимся в зоне прибоя.

Краткая инженерно-геологическая оценка крупнообломочных грунтов ледникового комплекса. Крупнообломочные флювиогляциальные отложения распространены в районах, «переживших» оледенение, и современного расположения материковых льдов (на ледниках). Крупные обширные по площади самостоятельные массивы они образуют довольно редко. Обычно крупнообломочный материал залегает в виде прослоев, линз или рассеян в виде включений в толщах моренных образований и флювиогляциальных песков.

Наиболее часто крупнообломочные грунты представлены галечником и гравием с песчаным заполнителем. Степень окатанности обломочного материала различна: преобладают средне- и слабообработанные обломки. Эти грунты характеризуются значительной водопроницаемостью, слабой сжимаемостью и довольно большой прочностью.

Песчаные грунты сложены угловатыми и окатанными обломками минералов размером от 2 до 0,05 мм. Основная масса песков состоит из кварца и полевых шпатов. В качестве примесей всегда присутствуют другие минералы — силикаты, глинистые и т. д. Пески на поверхности земли имеют широкое распространение, как на суше (речные и озерные пески), так и в морях (морские пески). Морские пески занимают большие площади, имеют многометровую мощность, чаще всего хорошо отсортированы по крупности частиц, нередко бывают мономинеральными, например чисто кварцевыми. Речные пески (аллювиальные) всегда локальны по площади распространения, маломощны, полиминеральны, не отсортированы, нередко имеют примесь глинистых частиц и гумуса. Еще более разнообразны по своему залеганию и составу *пролювиальные* (предгорные) пески. Для них типично переслаивание песков с различной крупностью частиц. По форме залегания это прослой и линзы среди крупнообломочных грунтов.

Пески представляют собой массу частиц с механическими связями. По крупности частиц пески разделяют на гравелистые, крупно-, средне- и мелкозернистые, пылеватые. Пористость песков в рыхлом состоянии около 47 %, а в плотном — до 37 %. Рыхлое сложение легко переходит в плотное при водонасыщении, вибрации и динамических воздействиях. Плотность песков оценивается по значению коэффициента пористости e : плотное сложение ($e < 0,60$), средней плотности и рыхлое ($e > 0,75$). В табл. 22 и 23 показаны нормативные характеристики песков четвертичного возраста.

Таблица 22

Нормативные значения C , кПа, ϕ , град., и E , МПа, песков четвертичного аозраста

Пески по крупности зерен	Характеристика	Коэффициент пористости e , равный			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Крупные	C	2	1	—	—
	ϕ	43	40	38	—
	E	50	40	30	—
Средние	C	3	2	1	—
	ϕ	40	38	35	—
	E	50	40	30	—
Мелкие	C	6	4	2	—
	ϕ	38	36	32	28
	E	48	38	28	18
Пылеватые	C	8	6	4	2
	ϕ	36	34	30	26
	E	39	28	18	11

Таблица 23

Характеристика песков по плотности сложения

Пески	Плотные	Средней плотности	Рыхлые
Гравелистые, крупные	$e < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,70$	$e > 0,70$
Средней крупности, мелкие	$e < 0,60$	$0,60 \leq e \leq 0,75$	$e > 0,75$
Пылеватые	$e < 0,60$	$0,60 \leq e \leq 0,80$	$e > 0,80$

За счет открытой пористости пески всегда водопроницаемы. В пылеватых песках k_{ϕ} не превышает 1 м/сут, в крупнозернистых — до 40—50 м/сут, а в гравелистых — 80—100 м/сут. В плотном сложении пески хорошо воспринимают нагрузки и рассеивают напряжение в основаниях под фундаментами. Модуль деформации песков от 11 до 50 МПа и закономерно снижается от крупнозернистых к пылеватым разновидностям песков.

Пески в строительстве имеют широкое применение. Они являются надежным основанием, служат хорошим материалом для изготовления различных строительных изделий, цементных растворов и т. д. Применимость песков как сырья для производства строительных материалов находится в зависимости от крупности частиц и основного в количественном отношении минерала, а также от примесей, таких, как слюды, соли, гипс, глинистые минералы, гумус. Эти примеси в ряде случаев ограничивают использование песков.

В табл. 24 показаны разновидности песков по крупности составляющих их частиц. В зависимости от крупности и количества тех или иных частиц пески имеют различные названия (гравелистые, крупные и т. д.).

Таблица 24

Разновидности песчаных грунтов

Пески	Крупность частиц, мм	% от массы воздушно-сухого грунта
Гравелистые	>2	>25
Крупные	>0,5	>50
Средней крупности	>0,25	>50
Мелкие	>0,1	75 и более
Пылеватые	>0,05 и 0,1	75 и более

Проходка строительных котлованов в песках сопряжена с известными трудностями. В рыхлых сухих песках приходится делать очень пологие откосы, что ведет к большим объемам земляных работ.

Инженерно-геологическая характеристика песчаных пород. Пески имеют чрезвычайно широкое распространение. Согласно данным Л.Б. Рухина, площадь, которая занята в СНГ песками, равняется примерно 2 млн км², из которых чуть меньше трети (600 тыс. км²) приходится на территорию Европейской части СНГ. Массивы песков Средней Азии и Казахстана имеют площадь около 1 млн км². Чрезвычайно энергичное использование песков в строительной практике в различных целях предопределяет необходимость тщательного их изучения. Песчаные породы открывают в нашем описании распространенную группу несвязных грунтов, не имеющих или почти не имеющих аналогичных глинистым грунтам связей между частицами и реализующие свои прочностные и деформационные характеристики за счет других особенностей своего внутреннего строения.

Состав, строение и свойства песков определяются как и у всех пород их генезисом. Выше было показано, что разные генетические типы песков имеют различное распространение в Европейской части СНГ; среди них аллювиальные, водноледниковые, ледниковые, эоловые, элювиальные, морские, озерные и другие. Дальнейшее описание песков будем проводить по различным их генетическим типам.

Инженерно-геологические особенности элювиальных песков. Элювиальные пески являются характерным продуктом выветривания и формируются на месте разрушения горных пород. Они характеризуются неоднородностью в гранулометрическом составе, необработанной угловатой формой зерен, рыхлым сложением и сильно выветрелой неровной, «кавернозной» поверхностью частиц, нередко покрытой железистой пленкой. Неоднородность гранулометрического состава элювиальных песков свойственна, по существу, всей их толще, за исключением самой верхней ее части, из которой выдуваются ветром пылеватые и глинистые частицы. Эта неоднородность связана прежде всего с отсутствием сортировки материала. Вниз по разрезу неоднородность возрастает, с одной стороны, за счет увеличения количества крупнозернистого материала, а с другой — за счет колюматации мелкими частицами из верхних слоев при интенсивной инфильтрации воды. Степень неоднородности зависит также и от состава исходных материнских пород, интенсивности и продолжительности выветривания. Например, разрушение песчаников приводит к образованию толщ сравнительно однородных песков с достаточно обработанными зернами. Сложение элювиальных песков обычно рыхлое, причем наиболее рыхлые песчаные частицы расположены в верхней части песчаной толщи. В нижних ее частях расположение песчинок становится более плотным, однако и здесь оно достаточно неоднородное. Вследствие этого элювиальные пески обладают достаточно высокой уплотняемостью. В силу ограниченности и специфики своего распространения элювиальные пески в инженерно-геологическом отношении изучаются конкретно в районе строительства проектируемого сооружения.

Инженерно-геологические особенности делювиальных песков. Делювиальные песчаные отложения по своим инженерно-геологическим параметрам и распространности довольно близки к элювиальным. Для них в целом свойственна неоднородность гранулометрического состава, необработанная угловатая форма частиц, рыхлое сложение и т. п. Однако в разрезе делювиальных песков иногда прослеживается вполне определенная сортировка материала. Наличие сортировки напрямую связано с условиями формирования делювия — переносом выветрелого материала по

склону движущейся дождевой или талой воды. Вниз по склону и вверх по разрезу происходит постепенное увеличение дисперсности песка. С точки зрения инженерно-геологической оценки пригодности делювиальных песков в качестве оснований сооружений следует иметь в виду, что при их небольшой мощности и спорадическом размещении у подножий склонов, а также практически всегда рыхлом сложении, при выборе площадки строительства следует проводить тщательные инженерные изыскания непосредственно на изучаемом участке, не прибегая к аналогам.

Инженерно-геологическая оценка пролювиальных песков. Пролювиальные пески, формирующиеся в горных и предгорных районах под влиянием временных бурных дождевых потоков, характеризуются некоторой, хотя и слабовыраженной обработанностью (слабой окатанностью) частиц. Дисперсность этих песков различна, она, в основном, определяется режимом временных дождевых потоков, которые приурочены к выходам из горных долин, где собственно и встречается песчаный пролювий. Для разрезов этих песков типично переслаивание разностей различного гранулометрического состава, среди которых обычно преобладают плохо- и слабоотсортированные. Очень часто пролювиальные пески залегают в виде прослоев и линз в толще крупнообломочного материала. По плотности сложения они несколько предпочтительнее песчаного делювия. Ограниченность распространения и отсутствия достаточного опыта использования чисто пролювиальных песков в качестве оснований сооружений не позволяет дать для них обобщающую инженерно-геологическую оценку, поэтому при изысканиях и наличии в общей массе песчаных отложений следует с особой тщательностью подходить к их исследованиям.

Аллювиальные песчаные отложения и их инженерно-геологическая оценка. Аллювиальные пески очень широко развиты в пределах равнинных территорий, где они встречаются как в современных речных долинах, так и вне их пределов. В долинах горных рек, где аллювий представлен в основном грубообломочным материалом, пески имеют спорадическое распространение.

Среди аллювиальных песков встречаются различные по гранулометрическому составу разности, отличающиеся структурно-текстурными особенностями и инженерно-геологическими свойствами. Эти характеристики, а также строение аллювиальных песчаных толщ определяются прежде всего *фациальными* условиями их формирования.

Русловые пески. Эти отложения основного потока реки наименее дисперсны по сравнению с другими фациальными типами аллювиальных песков, формирующихся на том же отрезке реки. В целом же их дисперсность в пределах долин различных рек

может зависеть от скорости течения реки и геологических особенностей местности. Общей характерной чертой русловых песков является закономерное изменение их дисперсности по продольному профилю реки: вниз по течению уменьшаются размеры зерен песка и одновременно с этим повышается его однородность. Русловые пески, как и другие типы аллювиальных песков, характеризуются слоистым сложением. Для них характерны разнообразные формы косой и диагональной слоистости. Песчаный материал в наклонных сериях пропластков, залегающих с углом падения $15-30^\circ$, обычно достаточно хорошо отсортирован. Однако наибольшей отсортированностью характеризуются пески микрофации прирусловой отмели; пески пристрежневой микрофации, представленные более крупными гранулометрическими разностями, имеют меньшую степень сортировки. Русловые пески сложены главным образом обработанными частицами (окатанной и слабоокатанной формы) с полированной поверхностью за счет мягкого трения в воде. Хотя они, как и большинство песков, в морфологическом отношении имеют в составе частицы разной формы и характера поверхности, но для песчаного аллювия описанная морфология зерен наиболее представительна, в других генетических типах песков чаще встречаются зерна с другими морфологическими параметрами. По минеральному составу русловые пески преимущественно кварцевые; неустойчивые минералы содержатся в них, как правило, в незначительном количестве. Невысокая дисперсность рассматриваемых песков, их достаточно хорошая отсортированность и окатанность, преобладающее среднее и рыхлое сложение обуславливают значительную их водопроницаемость, причем водопроницаемость русловых песков в горизонтальном направлении обычно выше, чем в вертикальном, что связано с особенностями текстуры их толщ.

Пойменные и старичные пески. В этих фациях аллювия пески играют подчиненную роль. Главным образом они залегают в виде маломощных прослоев и линз в толще супесчаных и суглинистых пород (отложения ленточной микрофации, микрофации линзовидно-слоистых супесей и суглинков и др). Однако отмечено, что в долинах некоторых рек, особенно в районах широкого распространения флювиогляциальных песков, роль песчаных отложений в пойменном аллювии становится доминирующей.

Наиболее крупные массы песчаных грунтов в толще пойменного аллювия приурочены к микрофации прирусловых валов. Прирусловые валы, как известно, формируются на границе русла и поймы на вогнутых сторонах речных меандр, по окраинам береговых отмелей. Эта микрофация представлена почти всегда и почти полностью косослоистыми песками. Следует напомнить,

что эта микрофация занимает как бы переходное место между русловыми и пойменными отложениями, что существенным образом на ней и отражается. Пойменные и старичные пески представлены преимущественно мелко- и тонкозернистыми, а также пылеватými песками, горизонтально- или линзовиднослоистыми, содержащими примесь глинистого, а иногда и органического материала. Эти пески имеют значительно меньшую водопроницаемость, сжимаемость и прочность по сравнению с русловыми отложениями.

Дельтовые пески. Указанные отложения являются продуктом формирования в области медленного движения речных вод, в районах, удаленных от источников обломочного материала на весьма значительные расстояния. В соответствии с этим дельтовые пески представлены в основном тонко- и мелкозернистыми достаточно хорошо отсортированными разностями с хорошо обработанными окатанной формы полированными зернами. В ряде случаев они обогащены пылеватым и глинистым материалом. Строение дельтовых песков характеризуется чередованием горизонтальных слоев с покрывающими их косыми сериями. Характерно при этом, что горизонтальные слои срезают косые серии несогласно (уклон косых слоев до 45°). Очень часто дельтовые пески имеют рыхлое сложение и значительно уплотняются при динамическом воздействии на них. Здесь следует заметить, что наличие глинистого и пылеватого материала в песках субаквальных дельт в условиях активного влияния морской воды при практически тонкозернистом составе играет существенную роль в формировании таких инженерно-геологических параметров, как сжимаемость и прочность. Естественным образом они, с одной стороны, играют определенную роль в формировании различных коллоидных связей, а с другой — создают условия для формирования высокопористых рыхлых структур, а также отрицательно влияют, как было уже отмечено, на динамическую устойчивость песков. Немаловажность последней характеристики следует иметь в виду при проектировании оснований сооружений, передающих динамические вибрационные нагрузки, на погребенных субаквальных дельтах. Вообще уже точно установлено, что мелкие аллювиальные пески особенно пойменной, старичной и рассматриваемой дельтовой фации склонны к разжижению при динамических нагрузках, будучи в водонасыщенном состоянии. Процесс этот сложен, но в упрощенном виде заключается в мгновенной перепакровке песчаных зерен, переходе песков из одного состояния плотности в другое, когда собственно свойство прочности носит неопределенный характер, в силу неясности проявления трения и потери значительного числа отдельных неизвестно каких струк-

турных связей между частицами, но для всего этого должны быть созданы определенные условия и приложены соответствующие усилия, а пески должны иметь специфические особенности.

Пески ледникового комплекса и их инженерно-геологическая оценка. Флювиогляциальные пески. Эти отложения, которые называются еще водноледниковыми, имеют очень широкое распространение в Европейской части России и Сибири. В зависимости от условий накопления материала среди флювиогляциальных образований выделяют:

- типично зандровые отложения, непосредственно примыкающие к поясу конечных морен соответствующего ледника;
- зандровые отложения долинного типа, выполняющие обширные ледниковые депрессии различного происхождения;
- флювиогляциальные террасовые отложения в долинах рек, слагающие наиболее древние высокие террасы.

Флювиогляциальные пески представлены различными по дисперсности разностями, правда преобладают крупно-, средне- и мелкозернистые, содержащие то или иное количество грубообломочного материала. Указанный состав и косая слоистость являются характерными для этих песков.

Типично зандровые пески во многих районах занимают массивы до нескольких сотен квадратных километров, что вполне объяснимо, исходя из данных о многоводности отлагавших их потоков воды, а также об отсутствии четко выраженных выработанных долин для их течения. По мере отступления переднего края ледника участки накопления зандровых песков также перемещались. Это привело к тому, что в толще песков часто прослеживается увеличение их дисперсности вверх по разрезу, причем такая закономерность выдержана на больших площадях. Песчаные и гравийно-галечниковые частицы, слагающие флювиогляциальные зандровые пески, в определенной степени отсортированы и обработаны водой, однако в заметно меньшей степени, нежели аллювиальные пески равнинных рек. В соответствии с этим многие флювиогляциальные пески отличаются заметной, иногда значительной угловатостью (слабой окатанностью) зерен с ямчатой поверхностью последних. По составу пески полиминеральные с высоким содержанием полевых шпатов и других первичных минералов. Они, как правило, лишены растворимых солей и содержат очень мало органических веществ.

Зандровые пески имеют в большинстве случаев среднее по плотности сложение. Однако во многих районах плотность их невелика, а сложение рыхлое. Об этом свидетельствует факт самопроизвольных осадок песчаных рыхлых толщ, сопровождавшихся движением достаточно больших масс водонасыщенных

песков, которые происходили на значительных расстояниях при поверхности с очень небольшим уклоном.

Типичным представителем зандровых песков являются среднечетвертичные флювиогляциальные пески, широко развитые в северо-западных районах Западно-Сибирской плиты, где они слагают обширные междуречные равнины площадью в сотни тысяч квадратных километров. Здесь среди песков встречаются гравелистые, крупные, средние, мелкие и пылеватые разности с преобладанием мелко- и среднезернистых песков. Для этих песков характерны включения гравия и гальки, высокое содержание собственно песчаных частиц (62—95 %), небольшое содержание пылеватых и некоторое количество глинистых частиц. В песках преобладает кварц, остальные минералы составляют всего лишь 2—3 %. Доминируют слабообработанные полугловатые или слабоокатанные зерна. Плотность частиц 2,64—2,68 г/см³. Уменьшение плотности песков происходит по мере возрастания их дисперсности (на 0,2—0,3 г/см³). Пористость песков этого типа достаточно высока: в гравелистых разностях — 40—41 %, мелких — 40—46 %, пылеватых — 42—51 %. Чаще всего пески имеют среднее по плотности сложение. Уплотняемость их колеблется в чрезвычайно широких пределах, причем она возрастает с увеличением дисперсности песков. Для описываемых песков коэффициент фильтрации не превышает 10 м/сут, с ростом же дисперсности он падает до 1,5 м/сут. Угол естественного откоса в воздушно-сухом состоянии изменяется от 30 до 40°, под водой этот диапазон снижается до 24—33°.

Зандровые отложения долинного типа образуют обширные песчаные равнины в Полесье на среднем Днепре, на Дону, в бассейне Верхней Волги и других районах страны. Они выполняют здесь обширные доледниковые депрессии и переходят вниз по течению в типичные флювиогляциальные террасы в долинах рек.

Для толщ долинно-зандровых песков в целом характерны многие из вышеуказанных особенностей типично-зандровых отложений. Однако они имеют ряд отличий, которые отрицательно сказываются на их инженерно-геологических параметрах. Это большая мелкозернистость состава и наличие линз и прослоев суглинистого материала, нередко находящегося в пластичном состоянии или обогащенного органическими растительными остатками (отложениями застойных вод). Вследствие этого устойчивость массивов, сложенных такими породами, обычно небольшая.

Ледниковые (моренные) пески залегают в виде прослоев и линз в толще моренных валунных суглинков и глин. Гранулометрический состав разнообразен, но преобладают разномерные пески, плохо отсортированные гравелистые и крупнозернистые раз-

ности. Во всех этих отложениях практически всегда присутствует валунный материал, иногда в значительных количествах. Для этого типа песков свойственна большая изменчивость состава и свойств как в разрезе, так и по простиранию. Ледниковые пески, заключенные в толще моренных глинистых грунтов, часто содержат напорные воды. Отмечены случаи, когда даже близко расположенные изолированные друг от друга линзы таких водонасыщенных песков могут обладать существенно разными напорами подземных вод. Подобные линзы при вскрытии их котлованами или другими строительными выемками и выработками часто вызывают оползание и оплывание откосов, а иногда и прорыв напорных подземных вод в котлованы и подземные выработки. Вместе с водой в этих случаях выносятся большое количество песка, что значительно ослабляет устойчивость вышележащего грунтового массива. Хорошая водопроницаемость моренных песков и, как правило, небольшие запасы подземных вод, заключенных в них, способствуют быстрому осушению таких песчаных толщ при их строительном использовании.

Инженерно-геологические особенности морских песков. Формирование песков морского генезиса происходит в обстановке активного воздействия моря, в условиях морской среды, что обуславливает «а priori» их известные отличия от континентальных песчаных отложений. С инженерно-геологической точки зрения пески целесообразно подразделить на прибрежные и собственно морские.

Прибрежные пески образуются близ морского берега на глубинах до 200 м. Мощность этих отложений сильно изменчива, достигает в некоторых районах нескольких десятков и даже сотен метров. Ширина зоны их развития также изменяется в широких пределах: от нескольких метров до десятков километров. В их формировании важнейшими факторами являются морской прибой и волнение, которые обуславливают характерную косую слоистость песчаных толщ, хорошую окатанность и шлифовку песчаных зерен.

Среди прибрежных песков выделяются три разновидности, обладающие некоторыми инженерно-геологическими особенностями:

- пески побережья выше зоны прибоя, имеющие диагональную слоистость и включающие в себя глинистые прослойки, битую и окатанную ракушку, растительные остатки (наличие указанных примесей снижает инженерно-геологические характеристики отложений);

- пески зоны прибоя, характеризующиеся обычно отсутствием илистых прослоек, хорошей отсортированностью, малым количе-

ством или почти полным отсутствием раковин, имеющие характерную косую слоистость и плотное положение;

- пески более глубоких прибрежных частей моря, обычно обладающие правильной слоистостью, которая часто бывает вызвана переслаиванием песчаного и глинистого материала; если глинистый материал начинает преобладать, то песчаный материал, обычно тонкозернистый, только разделяет глинистые слои в виде характерной «присыпки».

Глубинные пески, образующиеся под влиянием морских течений на различных глубинах, имеют сравнительно небольшую мощность (до нескольких десятков метров). Форма и размер «глубинных» песчаных толщ весьма разнообразны (от вытянутых вдоль подводных депрессий до заполняющих подводные котловины; от первых метров до нескольких сотен километров по протяженности). По гранулометрическому составу пески часто однородны и тонкозернисты, но могут содержать также гравий, а иногда даже гальку. В отдельных случаях зафиксированы более грубые и крупные обломки, появление которых может быть оправдано лишь наличием айсбергового разноса материала. Слоистость песков правильная, однообразная. Сложение их может быть более рыхлым, чем у прибрежных песков.

Среди морских песков преобладают кварцевые разности, нередко с различными примесями. Одними из наиболее интересных морских песков являются глауконитовые. Сравнительно легко разлагаясь, глауконит при благоприятных условиях может вызвать изменение свойств породы, в частности, цементацию песков продуктами своего разложения — гидроксидами, коагелями железа и кремнезема и т. п. В этом случае характерным является изменение типичного зеленоватого цвета глауконитовой породы — она покрывается ржавыми пятнами. Нередко в глауконитовых песках присутствует пирит, иногда в качестве примеси имеется слюда, придающая морским пескам некоторые «глинистые» свойства: уменьшение угла естественного откоса, снижение сопротивления сдвигу.

Морские пески, как уже отмечено выше, часто отличаются высокой однородностью и очень хорошей окатанностью (за редким исключением). В соответствии с этим их водопроницаемость достаточно велика, коэффициент фильтрации значительно больше 1 м/сут. Пески, сформировавшиеся в мелководных условиях, особенно пески зоны прибоя, имеют главным образом плотное сложение. Глубинные пески преимущественно рыхлые (но есть и исключения) со склонностью давать быструю осадку при динамических нагрузках и вибрации.

Инженерно-геологическая характеристика золотых песков.

Золотые пески имеют широкое распространение в полупустынных и пустынных областях. Золотой переработке также подвержены песчаные массивы в тундровых и лесотундровых районах. Зона тайги практически лишена золотых песчаных отложений.

Золотые пески обычно представлены хорошо отсортированными мелкозернистыми или тонкозернистыми разностями. В целом их дисперсность и степень обработанности определяются длительностью и интенсивностью золотой переработки — чем длительнее перевевается песок, тем более однородным он становится. В морфологическом отношении частицы песка имеют хорошую окатанность с типичной мелкоямчатой поверхностью, обусловленной большим числом соударений частиц при перемещении в воздухе. Частицы песка очень часто покрыты вторичными пленками различного химического состава.

Можно отметить, что в целом строение толщ золотых песков характеризуется:

- неправильностью и разнообразием углов наклона слоев;
- преобладанием пологих углов до 5° (наветренный склон) и до $30\text{—}33^\circ$ (подветренный склон);
- вогнутостью и выпуклостью напластований;
- большой вертикальной мощностью косых серий (до 100 м и более);
- тонкостью и однородностью песчаных зерен;
- высокой обработанностью песчаных зерен окатанной формы с типично мелкоямчатой поверхностью со вторичными пленками;
- в целом очень рыхлым недоуплотненным сложением.

В минералогическом отношении золотые пески обычно полиминеральны с преобладанием кварцевых частиц. По химическому составу они могут значительно отличаться друг от друга в зависимости от климатических условий района их распространения. Содержание CaO , MgO , Na_2O , K_2O в золотых песках повышается при более засушливом климате и соответственно с этим уменьшается содержание SiO_2 .

В качестве примера приведем характеристику инженерно-геологических особенностей золотых верхнечетвертичных отложений Западных Кара-Кумов.

Пески этого района образовались при перевевании морских и аллювиальных песков раннечетвертичного и более древнего возраста.

Они представлены, главным образом, косослоистыми мелкозернистыми разностями (преобладают частицы размером $0,25\text{—}0,1$ мм). Пески весьма хорошо отсортированы, полиминеральны: в качестве основных компонентов в них содержатся кварц, полевые шпаты,

кальцит, обломки пород. Они отличаются от других генетических типов песков этого региона (аллювиальных морских) повышенным содержанием весьма обработанных частиц.

Пористость песков при их рыхлом сложении составляет 47 %, при плотном — 37 %. В условиях естественного залегания они находятся в рыхлом сложении и в соответствии с этим легко и значительно уплотняются под действием динамических нагрузок и вибрации. В связи с хорошей отсортированностью и значительной пористостью (при преобладании крупных пор) высота их капиллярного поднятия не превышает 60 см. Хорошая отсортированность, однородное и достаточно рыхлое сложение эоловых песков обуславливают большую их водопроницаемость: обычно коэффициент фильтрации составляет несколько более 10 м/сут, в отдельных случаях отмечено его повышение до 15 м/сут.

Отметим, что изменение песчаных и рассмотренных выше крупнообломочных грунтов в процессе диагенеза сравнительно невелико. Поэтому геологически разновозрастные пески одинакового генетического типа, близкой дисперсности и минерального состава обладают, по мнению ряда специалистов, сходными инженерно-геологическими свойствами в пределах инженерных воздействий, имеющих в современной строительной практике, хотя специальных исследований в этом направлении, насколько известно, не проводилось.

Свойства связных грунтов

К связным грунтам относятся осадочные породы трех типов:

- минеральные;
- органоминеральные;
- органические.

Наибольшее распространение на земной поверхности имеет минеральный тип, представленный глинистыми грунтами с водно-коллоидными связями между частицами. Земная кора практически повсеместно (не менее 60 % объема осадочных пород) покрыта глинистыми образованиями. В эти образования входят три литологические разновидности: супеси, суглинки и глины.

Минеральные (глинистые) грунты. Этот тип грунтов характеризуется большой группой физических свойств: пористостью, влажностью; поглотительной способностью; коррозионными и специфическими свойствами (пластичностью, консистенцией, липкостью, набуханием и усадкой).

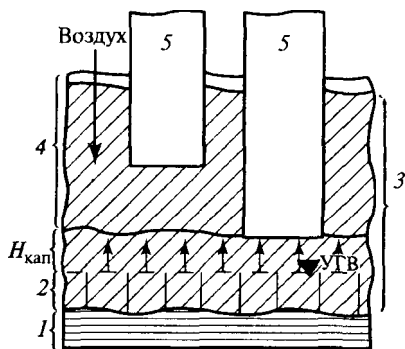
Глинистые грунты обычно залегают самостоятельными слоями, иногда в виде прослоев или линз в толщах других грунтов, что типично в основном озерным и речным отложениям. Мощ-

ность слоев очень разнообразна — от сантиметров до десятков и сотен метров. Глины сложены глинистыми минералами (до 95 %), среди которых преобладает гидрослюда, в качестве примесей присутствуют каолинит, монтмориллонит и др. Иногда встречаются глины, в которых основное место занимают каолинит или монтмориллонит. В суглинках кроме глинистых минералов присутствуют (до 30—50 %) кварц, полевые шпаты и другие кластогенные минералы, имеющие размер пылеватых частиц. В составе супесей основное место занимают кластогенные зерна (кварц, полевые шпаты и др.), а глинистые минералы находятся в подчиненном положении (до 10—20 %).

Пористость *и* глинистых грунтов различна: супеси — 10—15 %, суглинки — 20—30 %, глины — 90—95 %. В супесях, легких и средних суглинках поры имеют открытый характер, т. е. они практически соединяются друг с другом, что позволяет достаточно свободно проникать в грунт воздуху и воде (рис. 53). В глинах большинство пор имеет закрытый характер, поры изолированы друг от друга, могут содержать «защемленные» воздух и воду. Закрытость пор придает глинам характер «водоупоров» и через глины вода не фильтруется.

В порах глинистых грунтов кроме воздуха и воды иногда содержится органика преимущественно в виде «гумуса». Наибольшее его количество (до 5—15 % массы грунта) бывает связано с супесями и суглинками. В таких случаях эти грунты уже можно именовать «почвами». Гумус очень гидрофилен и поэтому существенно влияет на свойства глинистых грунтов, повышая их активность во взаимоотношениях с водой. В грунтах увеличивается влагоемкость, пластичность, сжатие под нагрузками и т. д.

Глинистые грунты, особенно в условиях влажного состояния, под нагрузками способны сжиматься, т. е. уплотняться. Сжатие происходит за счет уменьшения пористости. Вначале из пор вытесняется воздух, а потом свободная вода. Грунт при этом ведет себя как пластичное тело. Дальнейшее увеличение нагрузки принимает на себя минеральный скелет грунта. Если структура грунта не была разрушена, то после снятия нагрузки объем грунта может несколько увеличи-



Р и с. 53. Капиллярная кайма ($H_{\text{кап}}$) в грунте:

1 — водоупор (глина); 2 — грунтовая вода;
3 — суглинок; 4 — зона аэрации; 5 — зда-
ния

ться. Это связано с расклинивающим действием пленочной воды, которая восстанавливает толщину своих пленок и раздвигает частицы грунта.

Влажность W глинистых грунтов. Вода в глинистых грунтах находится в порах, заполняя их полностью или частично. Вода всегда оказывает очень большое влияние на свойства грунтов, в частности, на поведение их под нагрузками. В природных условиях глинистые грунты практически всегда содержат воду, количество же и виды воды бывают различными.

Природная влажность W — это общее количество воды, содержащееся в объеме грунта, т. е. весовое количество воды к весу сухого грунта. Если поры грунта полностью заполнены водой, то его относят к водонасыщенным W_{sat} . Величина W может изменяться за счет испарения, давления на грунт, притока воды из окружающей среды.

Поглотительная способность глинистых грунтов связана с активной поверхностью глинистых частиц, которая энергично взаимодействует с окружающей частицы средой. Наивысшей активностью отличаются глинистые частицы, которые несут на своей поверхности электрические заряды. Минералы, например, алюмосиликатного или силикатного состава имеют отрицательные заряды, а карбонаты — положительные.

Активность поверхности частиц проявляется следующим образом. При прохождении через грунты жидкостей и газов поверхность частиц притягивает к себе содержащиеся в них вещества или, наоборот, отдает в эти жидкости и газы какие-либо вещества со своей поверхности. Это и есть поглотительная способность грунтов.

В природных условиях все поверхности глинистых частиц обязательно несут на себе какие-либо вещества. Это могут быть: катионы и анионы; пленки воды; частицы или пленки оксидов железа и алюминия или органических веществ типа гумуса, соединений из битума и т. д. Все эти вещества называют «обменными», так как они могут «уходить» и «приходить» из грунтов. Обменные вещества активно влияют на свойства глинистых грунтов, но характер воздействия различен и зависит от вида поглощенных веществ. Наиболее активную роль играют молекулы воды, органические соединения и катионы химических элементов, таких, как K, Na, Ca, Mg. Специальными способами эти обменные катионы можно вводить и выводить из грунтов, заменять один катион на другой, например K на Na или Ca на Mg, и тем самым целенаправленно управлять свойствами грунтов.

Каждый глинистый грунт может поглотить только определенное количество катионов. Максимальное количество поглощенных катионов зависит от *емкости объема* данного грунта и выра-

жается в миллиграмм-эквивалентах (мг-экв) на 100 г сухого глинистого грунта. Емкость объема зависит: 1) от дисперсности частиц, т. е. чем мельче частицы и их больше в единице объема грунта, тем больше будет суммарная поверхность частиц и общая поверхностная энергия; 2) от того, какие минералы присутствуют, например наибольшей поглотительной способностью обладают монтмориллонит.

Поглотительная способность во многих случаях оказывает решающее значение при выборе методов и осуществления работ по искусственному улучшению свойств глинистых грунтов.

Коррозионные свойства глинистых грунтов. Коррозия — это разрушение строительных материалов и подземных металлических трубопроводов, расположенных в глинистых грунтах. Коррозия возникает в результате электролиза, который начинается в грунтах после воздействия *блуждающих электрических токов* на поровый водно-солевой раствор. В этом процессе вода пор становится электролитом. Коррозионные разрушения наиболее типичны городским территориям, где развито трамвайное движение. При проектировании объектов против коррозии следует предусматривать меры защиты.

Специфические свойства глинистых грунтов. Вода и ее количество придает грунтам ряд особых свойств, которые принято называть *специфическими*, или «характерными». Это — *пластичность, липкость, набухание и усадка*. Все эти свойства типичны глинистым грунтам и имеют большое значение при их строительной оценке.

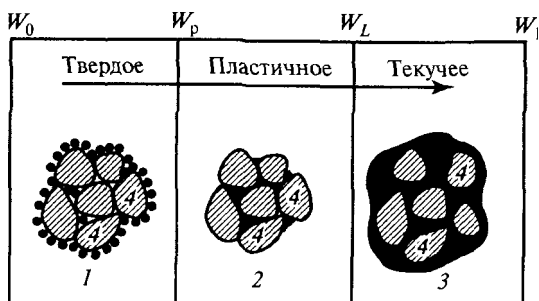
Пластичность — способность глинистых грунтов под действием внешнего давления изменять свою форму без разрыва сплошности, т. е. без образования трещин, и сохранять полученную форму. Пластичные свойства обуславливаются наличием пленочной воды и проявляются только между двумя определенными значениями влажности. Представляется нелишним еще раз остановиться на этих значениях. Меньшее значение называют нижним пределом пластичности, или *границей раскатывания* W_p , а большее — верхним пределом пластичности, или *границей текучести* W_L . При влажности ниже W_p грунт находится в твердом состоянии, а когда влажность выше W_L — грунт растекается. Разницу между значениями W_p и W_L называют *числом пластичности* I_p (рис. 54).

Консистенция тесно связана с пластичностью, отражает физическое состояние грунтов и показывает степень подвижности частиц в зависимости от различного количества в грунтах воды. Консистенцию J_L определяют по формуле

$$J_L = (W - W_p) (W_L - W_p).$$

Р и с. 54. Состояние
глинистых грунтов
в зависимости от вида
и количества воды:

1 — молекула воды; 2 — пленоч-
ная вода; 3 — свободная вода;
4 — частицы грунта



По значениям J_L с помощью таблиц устанавливают, в каком состоянии находится грунт, например, суглинки и глины могут иметь консистенцию твердую, полутвердую, тугопластичную, мягкопластичную, текучепластичную, текучую. Супеси бывают в твердом состоянии, пластичном и текучем (табл. 25).

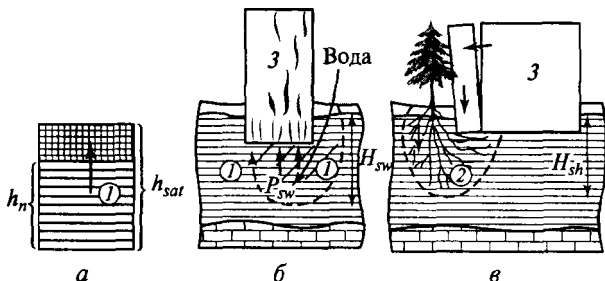
Таблица 25

Значения J_L

Супеси	Суглинки и глины
Твердые, $J_L < 0$	Твердые, $J_L < 0$
Пластичные, $0 \leq J_L \leq 1$	Полутвердые, $0 < J_L \leq 0,25$
Текучие, $J_L > 1$	Тугопластичные, $0,25 < J_L \leq 0,5$
	Мягкопластичные, $0,5 < J_L \leq 0,75$
	Текучепластичные, $0,75 < J_L \leq 1$
	Текучие, $J_L > 1$

Липкость (г/см^2) — способность глинистых грунтов прилипать к поверхности предметов (колесам и тракам дорожных машин, к лопате и т. д.). Липкостью обладают грунты, которые находятся в пластичном состоянии и обуславливаются наличием пленочной воды, а в почвах также гидрофильного гумуса. Пески и супеси липкостью не обладают. Липкость определяют лабораторным путем. При строительных работах в период дождей она осложняет разработку котлованов и процесс уплотнения грунтов.

Набухание — способность глинистых грунтов увеличивать свой объем в результате увлажнения. Этот процесс свойствен прежде всего глинам и тяжелым суглинкам. Набухающие грунты обычно залегают слоями и чаще всего встречаются на поверхности земли сухих районов. Мощность слоев набухающих глин обозначается $H_{\text{нб}}$. Схема процесса набухания грунтов показана на рис. 55. Из того же рисунка видно, где под зданием проявляет себя процесс



Р и с. 55. Схема набухания грунта (а), давление набухания (P_{sw}) на фундамент (б), деформация здания от усадки грунта (в):

1 — набухающие грунты; 2 — зона усадки грунта; 3 — здания

набухания грунта основания. За счет давления набухания грунтов здание деформируется.

Набухание грунтов происходит после соприкосновения с водой, если они были сухие или слабо влажные. Вода проникает в грунт по капиллярам, пленки воды утолщаются до уровня $W_{мвб}$, частицы грунта раздвигаются и объем грунта возрастает. В увеличении объема грунта играет роль минерал монтмориллонит, который поглощает воду и «разбухает» во много раз. Способность грунтов к набуханию определяют в лаборатории, устанавливая величину *относительного набухания* $E_{sw} = (h_{nc} - h)/h$, где h — начальная высота образцов и h_{nc} — высота после набухания. При $E_{sw} = 0,04$ грунт считают набухающим; при значении $0,04—0,08$ — слабонабухающим; $0,09—0,12$ — средненабухающим и при более $0,12$ — сильно набухающим. Одновременно определяется *влажность набухания* W_{sw} , при которой проявляется максимальное значение набухания и *давление набухания* P_{sw} , которое создает грунт при увеличении своего объема. Давление P_{sw} может достигать $0,8$ МПа. Такая сила набухания легко поднимает и деформирует здание и сооружение.

Наличие набухающих грунтов устанавливают в период инженерно-геологических изысканий. Если грунты являются набухающими, то при проектировании объектов необходимо предусматривать определенные мероприятия: 1) в надземной части зданий (увеличивать жесткость и прочность зданий) и 2) в грунтовом основании.

При строительстве на набухающих основаниях могут быть использованы следующие мероприятия:

- водозащита вокруг зданий и сооружений для предотвращения проникновения в основания атмосферных и технических вод. Вокруг зданий устраивают широкие асфальтовые отмостки, канавы и

лотки для отвода воды; надземные водонесущие коммуникации помещают в специальные каналы;

- устранение свойств набухания в пределах всей или части толщи грунта путем предпостроечного замачивания. Для промачивания грунтов используют дренирующие скважины. Грунт провоцируется на набухание и в таком виде должен находиться весь период эксплуатации объекта. Следует отметить, что при этом в грунтах понижаются прочностные и деформативные характеристики. В связи с этим рекомендуется строить объекты с небольшими нагрузками;

- устройство компенсирующих подушек под всем зданием или фундаментами из слоя уплотненного грунта (песка, суглинка, глины). Это позволяет уменьшать до допустимого предела величину P_{sw} ;

- полная или частичная прорезка сборными фундаментами слоя набухающего грунта. При этом боковая часть фундаментов должна обсыпаться песком в целях устранения прилипания грунта к фундаментам;

- полная или частичная замена слоя набухающего грунта ненабухающим грунтом. Этот способ экономически оправдан при набухающих грунтах с небольшой мощностью слоев;

- увеличение давления от зданий на основание, чтобы оно было больше P_{sw} .

Необходимо отметить, что наибольший эффект при строительстве объектов на набухающих грунтах можно получить при сочетании нескольких вышеперечисленных мероприятий и при увеличении жесткости и прочности самих зданий.

Усадка — это уменьшение объема глинистого грунта при высыхании. Собственно, это процесс, обратный набуханию. Высыхание грунтов может происходить за счет испарения воды или вследствие отсасывания из грунта воды корнями деревьев, которые посажены слишком близко к зданию, и их корни проникают под фундамент. При усадке грунт растрескивается, теряет монолитность, прочность. Поверхность земли опускается, и здания, стоящие на этом месте, начинают деформироваться (см. рис. 55).

Усадку изучают в лаборатории, где устанавливают величину относительной усадки, т. е. предел усадки $E_{sh} = (h_n - h_d)/h_n$, где h_n — высота образца грунта с W_{max} , а h_d — высота после высыхания; определяют влажность грунта на пределе усадки W_{sh} ; мощность грунтов, которые подвержены усадке H_{sh} . Наибольшая величина E_{sh} бывает в глинах, меньше в суглинках. В супесях усадка не проявляется. Проявление усадки предупреждают теми же мероприятиями, что и набухание грунтов.

Инженерно-геологическая характеристика некоторых глинистых грунтов. *Элювиальные глинистые грунты.* Образуются в результате разложения различных пород и накопления на месте разрушения — в коре выветривания — глинистых продуктов указанного разложения (разрушения). По гранулометрическому составу среди этих отложений встречаются разновидности от высокодисперсных глин до неравномернозернистых супесей, содержащих различное количество грубообломочных включений.

Для толщ элювиальных глинистых грунтов в вертикальном разрезе характерен постепенный переход к материнским породам. Формы залегания весьма разнообразны и своеобразны: гнездовые, карманообразные, плащеобразные и др.

Протяженность указанных форм очень изменчива, иногда носит прерывистый характер. Мощность колеблется от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров. Толщи элювиальных глинистых грунтов обычно лишены слоистости, которая может наблюдаться только, как реликт слоистой текстуры материнской породы. Окраска глин весьма разнообразна: от белой, желтоватой, зеленоватой до красной и пестрой. Растительные остатки и органическое вещество практически не встречаются. Минералогический состав элювиальных глин различен, он определяется главным образом тем составом, которым обладали исходные материнские породы, а также характером и степенью развития процессов их выветривания. В результате в зависимости от длительности выветривания формируются различные, иногда значительной мощности глинистые толщи соответствующего состава — каолинитовые, галлузит-каолинитовые, монтмориллонитовые, гидрослюдистые или смешанного состава. Именно среди глин этого генетического типа достаточно часто встречаются обычно редкие мономинеральные разности. Элювиальные глины характеризуются различными инженерно-геологическими свойствами. Еще большим разнообразием отличаются такие петрографические разности элювиальных глинистых отложений, как суглинки и супеси в силу чрезвычайной изменчивости, а также количества и вида глинистых минералов в их составе. Особенно ярко это проявляется в таком их свойстве, как пластичность. Покажем это на примере «чистых» элювиальных глин: наиболее пластичные их разности формируются при разложении осадочных глинистых и основных изверженных, чаще эффузивных, пород. При разложении кислых пород обычно образуются слабопластичные глины, главным образом каолинитового состава. Пластичность других петрографических разностей элювиальных глинистых пород обусловлена также наличием и количеством песчаной, пылеватой и грубообломочной фракций. Прочность

элювиальных глинистых пород во много раз меньше, чем в исходных материнских породах.

Делювиальные глинистые грунты. Эти отложения развиты достаточно широко. К ним относятся разнообразные по петрографическому составу образования, покрывающие более или менее мощным покровом склоны различных положительных и откосы отрицательных форм рельефа. Это продукт выветривания выше лежащих коренных пород, перемещенный дождевыми и тальными снеговыми водами вниз по склонам и откосам вершин, возвышенностей, берегам обрывов и балок к их подножьям. Делювиальные образования или вовсе не обнаруживают слоистости и сортировки материала, или только неправильную местную слоистость и неполную сортировку, что резко отличает их от других генетических разностей осадочных образований. Кроме того, для описываемых пород характерна быстрая, а часто и резкая изменчивость состава. Среди них чаще всего можно встретить суглинки и глины, хотя описаны и супеси, но в меньших объемах. Довольно часто делювиальные глинистые грунты содержат щебень и более крупные обломки пород, развитые на склоне, как правило, перемещенные гравитационными силами и расположенные всегда беспорядочно, хаотично. В породах имеются различные растительные остатки. Глинистый делювий почти всегда полиминеральный, с преобладанием минералов, характерных для окружающих пород. В районах с умеренно влажным климатом он лишен водно-растворимых солей. Коллоидная его часть характеризуется водоустойчивыми структурными связями, которые свойственны кальциевым агрегатам и коагелям взаимного осаждения. В засушливых областях глинистый делювий в той или иной степени засолен и характеризуется водоустойчивыми структурными связями кристаллизационного типа. Нередко присутствует гипс в виде мелких игольчатых кристаллов или присыпки (порошка).

Физико-механические свойства глинистого делювия также сильно изменяются в зависимости от его состава. Однако в общем инженерно-геологические его качества невысоки. Так, пористость нередко выше 50 %, во влажном состоянии она очень сильно снижается — относительная осадка при давлении 0,2 МПа может достигать 20 %. Делювиальные грунты быстро размокают в воде, особенно если их естественная влажность невысока. Сопротивление глинистого делювия колеблется в широком диапазоне и зависит от состояния породы. Некоторые глинистые разности показывают при давлении 0,2 МПа очень малые значения угла сдвига (2—3°). В других случаях он может достигать почти 45°. Сцепление лежит в пределах 0,005—0,025 МПа. Водопроницаемость, благодаря значительной «глинистости», весьма невелика.

Оценивая делювиальные глинистые грунты с инженерно-геологической точки зрения, следует иметь в виду их общую склонность к движению вниз по склонам, связанную с глинистым составом и отчасти неясно проявляющейся слоистой текстурой, а может быть и приобретенную тенденцию к движению еще на этапе формирования?! Искусственная подрезка делювиальной толщи при проходке котлована под здание, дорожной выемки и т. п., особенно в нижней части склона, как правило, вызывает во всей ее массе подвижки оползневого характера, при этом поверхность скольжения может образоваться как внутри делювиальной толщи, так и на контакте ее с подстилающей коренной породой. Примером служат крупные оползни в делювиальных толщах, описанные на Южном берегу Крыма.

Пролувиальные глинистые образования. Этот генетический тип континентальных отложений, впрочем как и элювий, впервые был выделен А.П. Павловым в 1903 г. при описании современных отложений тогдашнего Туркестана: «Здесь работают не одни дождевые струйки, но и по временам выбегающие из долин значительные потоки, порождаемые ливнями. Геологические отложения, накапливающиеся путем распространения по равнинам минерального материала, выносимого временно излившимися из горных долин и растекающимися по равнине потоками, заслуживают обозначения в особый генетический тип, для обозначения которого было бы удобно пользоваться термином «пролувиальные отложения», или «пролувий». Пролувий располагается непосредственно за конусами выноса». Формирование пролувия происходит при оседании частиц в мелких озерах, временно образующихся при залипании их водой горных рек. По своему гранулометрическому составу пролувий чаще всего представлен пылеватыми суглинками. В настоящее время понятие термина «пролувий» несколько расширилось, в него были включены отложения временных потоков в пределах долин и конусов выноса. Среди слагающих их толщ также встречаются глинистые образования, они обычно слагают маломощные (1—5 м) прослои и линзы в толще грубообломочных пород, которые прослеживаются на протяжении десятков и сотен метров. Для таких глинистых образований характерна плохая сортировка материала и наличие включений обломков пород различной величины. Обычно глинистые породы песчаные или сильнопылеватые, причем характерным является беспорядочное распределение по породе различных по размерам частиц. Глинистые отложения обычно и, естественно, полиминеральны, их минералогический состав зависит от состава размываемых пород и имеет резко выраженный унаследованный характер. С инженерно-геологической точки зрения обобщающих данных немного, хо-

тя опыт строительного использования пролювиальных отложений имеется. Глинистый пролювий в силу своего формирования придает еще большую неоднородность всей пролювиальной толще с точки зрения деформационных, прочностных и воднофильтрационных характеристик.

Аллювиальные глинистые образования. В аллювиальных отложениях глинистые породы развиты очень широко, особенно в долинах равнинных рек. Глинистый аллювий отличается большим разнообразием состава и свойств. Это разнообразие определяется различными условиями формирования тех или иных глинистых аллювиальных толщ.

Среди отложений *русловой* фации аллювия содержание глинистых грунтов естественным образом невелико, в силу условий формирования русловых отложений, хотя встречаются супеси и суглинки, нередко содержащие органические остатки. В связи с малым распространением русловые глинистые грунты инженерно-геологической оценки обобщающего характера не имеют.

Пойменная фация аллювия равнинных рек в отличие от русловой сложена преимущественно глинистыми образованиями. Это обусловлено тем, что паводковые воды, разливающиеся по пойме, несут, как правило, тонкопесчаный, пылевато-суглинистый и глинистый материал. Этот материал оседает на поверхности поймы после спада воды и покрывает ее прерывистым слоем, при этом наиболее мощные глинистые линзы, обычно обогащенные органическими остатками, образуются в понижениях рельефа. Оседанию взвешенного в воде материала и обогащению его растительными остатками и органическим веществом способствует обильно развивающаяся обычно богатая травянистая растительность и заросли кустарника. Среди отложений пойменной фации наиболее широко развиты горизонтально-, волнисто-, линзовидно-слоистые суглинки и глины, редко супеси. Суглинки и глины плохо дренируемых участков пойм обычно имеют серо-сизый цвет, вследствие их оглеения и обогащения органическими веществами; на дренированных, прирусловых участках цвет пород коричнево-бурый. Молодые пойменные глины, суглинки, супеси обычно очень рыхлые, влажные и слабосвязные. Высыхание их сопровождается структурными изменениями, выражающимися в появлении мельчайших трещинок, которые разбивают породу на отдельные неправильной формы. По стенкам этих трещинок часто отлагаются оксиды железа бурого цвета, которые дополнительно увеличивают неоднородность строения пойменных отложений. Очень часто в разрезах пойменного глинистого аллювия наблюдаются погребенные почвы и своеобразные темноцветные горизонты, обогащенные органическим веществом.

Наличие таких горизонтов в толще аллювия ухудшает его свойства, поскольку повышенное содержание органического материала в таких прослоях повышает гидрофильность, влажность, набухаемость, сжимаемость и снижает сопротивление сдвигу аллювиальных глинистых толщ.

Глинистые грунты со своеобразными особенностями формируются в «брошенных» старых руслах — *старицах*, которые со временем медленно превращаются в замкнутые заболоченные понижения, постепенно заполняющиеся в паводковый период пылевато-глинистым материалом. Эти отложения богаты гниющими органическими остатками, что вызывает процессы торфообразования и типичные при недостатке кислорода процессы минералообразования. В результате последних образуются такие минералы, как сидерит, вивианит и т. п. Большинство из них при воздействии кислорода легко разлагаются, обуславливая характерные для старичных отложений процессы диагенеза. Для этих отложений в отличие от других пойменных образований характерно также постоянное полное водонасыщение. После спада паводковых вод глинистые отложения поймы подвергаются длительному просыханию (до следующего затопления их водой), а *старичные* образования, как правило, остаются все время покрытыми водой. В этих условиях старичные глинистые отложения приобретают явные коллоидные свойства, обуславливающие их обычно пластичное или даже текучее состояние и весьма низкие прочностные и деформационные показатели.

По минералогическому составу глинистые аллювиальные грунты довольно разнообразны. Среди них преобладают полиминеральные разности, содержащие в своем составе по несколько глинистых минералов. Самыми распространенными являются каолинит-гидрослюдистая и монтмориллонит-гидрослюдистая ассоциации минералов.

Приведенное достаточно беглое описание различных фациальных типов глинистых аллювиальных грунтов показывает, что наименее хорошими по своим инженерно-геологическим характеристикам среди них оказываются старичные глинистые грунты, представленные обычно достаточно высокодисперсными разностями со значительным количеством органики. Они находятся в мягкопластичном состоянии. Среди них (особенно в молодых современных образованиях) очень широко распространены грунты текучей и скрытотекучей консистенции. Все они характеризуются высокой сжимаемостью и низкими показателями сопротивления сдвигу. Например, Н.Н. Маслов указывал, что коэффициент сдвига пластичных разностей старичных глинистых грунтов при нагрузке 0,2 МПа равен 0,15—0,25, модуль осадки 150—200 мм/м. Еще

более высокие показатели сжимаемости (и соответственно более низкие прочностные показатели) характерны для текучих разностей грунтов. Водонасыщенность старичных грунтов, несмотря на их значительную общую пористость, очень мала, вследствие чего процесс осадки сооружений, возведенных на них, протекает медленно, долго и зачастую неравномерно. Высокая сжимаемость и низкие сопротивления сдвигу старичных глинистых отложений не позволяют рекомендовать их в качестве основания для тяжелых и сложных инженерных сооружений. В случае же необходимости расположения их на участках развития старичных отложений должны быть применены специальные способы обеспечения устойчивости, а в отдельных случаях удаление и замена этих грунтов более надежными.

Глинистые и суглинистые грунты пойменной фации аллювия обладают более благоприятными инженерно-геологическими характеристиками. Для них отмечены большие значения сопротивления сдвигу, меньшая сжимаемость, причем отложения высоких пойменных террас еще более благоприятны для строительства. Водопроницаемость пойменных глинистых грунтов также невелика. Среди них в разрезах надпойменных террас достаточно широко развиты лессовидные суглинки, которые в разной степени обладают просадочными свойствами и невысокой водопрочностью.

С аккумулярующей деятельностью рек связаны и *дельтовые* отложения, подразделяющиеся по условиям своего образования на две большие группы. Одна из них связана своим происхождением с субаквальными дельтами (реки впадают в водные бассейны), другая — с субаэральными дельтами (реки растекаются по равнине или перестают течь по различным причинам). Отложения субаквальных дельт формируются под влиянием аккумулярующей деятельности реки при значительном влиянии морской, озерной или лагунной обстановки. По составу дельтовые отложения равнинных рек разнообразны, но в общем для них характерна большая глинистость. В отдельных случаях значительные скопления растительных остатков predisполагают к образованию угленосных толщ. Молодые глинистые отложения дельты особенно при быстром их накоплении отличаются большой рыхлостью. Особенно указанная рыхлость свойственна дельтовым осадкам, формирующимся в воде с повышенной соленостью, поскольку проходящая в этих условиях коагуляция обуславливает рыхлую агрегатную структуру осадка с очень высокой пористостью. Например, средняя плотность скелета молодых глинистых отложений в дельте Волги составляет всего лишь $0,42 \text{ г/см}^3$, а средняя пористость — 84 %, при этом нужно учитывать, что объем их годового прироста равен 48 млн м^3 .

При наличии в воде кальция в глинистых грунтах дельты образуются водоустойчивые кальциевые агрегаты. В засушливых местах дельтовые отложения (особенно подводной части) имеют солончаковый характер, в них формируются нестойкие связи из выкристаллизовавшихся солей или нестойкие связи коллоидного типа вследствие «высаливания». При расслоении такие грунты приобретают солонцеватость. Высокая пористость большей части дельтовых отложений сказывается на том, что они обладают в общем значительной сжимаемостью, низкой прочностью и длительным временем консолидации.

Среди отложений субаэральных дельт собственно глинистые породы развиты весьма мало. Для них характерны лессовидные супеси и суглинки, обладающие в большинстве случаев типичными просадочными свойствами.

Глинистые грунты в отложениях ледникового комплекса. Отложения ледникового комплекса слагают мощные толщи моренных водно-ледниковых образований, среди которых широко развиты глинистые породы.

Моренные образования представлены супесями, суглинками и глинами, содержащими различное количество дресвы, гравия, гальки и валунов. Состав этих образований достаточно закономерно изменяется по мере удаления от области питания. Так, на северо-западе Европейской части России это в основном супеси (реже суглинки), переполненные крупновалунным материалом из кристаллических изверженных пород. Далее к югу развиты преимущественно суглинистые толщи, количество включений в которых гораздо меньше, чем к северу. Еще южнее (на севере Украины) морена становится еще более глинистой, количество валунов уменьшается и они уже представлены в основном обломками местных пород.

Нижние горизонты моренных толщ по своему составу в значительной степени связаны с составом подстилающих пород. Для толщ моренных образований характерны включения отторженцев — крупных глыб или массивов подстилающих ледник пород, которые по своим инженерно-геологическим особенностям существенно отличаются от моренных глинистых пород. Если подобные отторженцы состоят из твердых пород (известняков, песчаников), они не представляют опасности в инженерно-геологическом отношении и лишь вносят «осложнения в инженерно-геологическую обстановку». Отторженцы пластичных мягких глин (темные глины юры и др.) играют совершенно иную роль: их наличие может обуславливать большие и, главное, неравномерные осадки зданий на участках их развития. Для моренных образований также характерно наличие внутриморенных линз

водонасыщенных песков, которые увеличивают неоднородность строения моренных толщ и уменьшают их устойчивость в стенках откосов и котлованов.

Глинистые моренные грунты являются полиминеральными образованиями. В их глинистой фракции чаще всего преобладают гидрослюды. Наряду с ними содержится значительное количество кварца, полевых шпатов и других минералов, тонкодисперсные частицы которых образовались путем механического перетирания крупных обломков в процессе движения льда. Водорастворимые соли имеются в незначительном количестве или полностью отсутствуют, равно как и органическое вещество.

Отличительной чертой глинистых моренных образований является их высокая плотность: обычно от 1,80—1,90 до 2,20—2,30 г/см³. Пористость этих грунтов мала — обычно 25—35 % (но чаще 30 % или намного ниже). Столь высокая уплотненность рассматриваемых глинистых грунтов объясняется в первую очередь уплотняющим давлением ледника в период формирования моренных толщ. Высокому уплотнению способствовала в значительной мере большая разнородность гранулометрического состава моренных грунтов. Высокая плотность, естественно, во многом обусловила невысокую сжимаемость: в общем показатели физико-механических свойств характеризуют морену как плотный, слабосжимаемый грунт. Модули сжимаемости, полученные по данным компрессионных испытаний, в интервале нагрузок 0,1—0,3 МПа находятся в пределах от 6 до 10—15 и даже 20 МПа. Для нагрузок 0,3—0,4 МПа их значения обычно больше 10 МПа. Коэффициент пористости для моренных суглинков лежит в пределах 0,3—0,45, а моренных супесей — 0,4—0,5. Сопротивление сдвигу моренных грунтов обычно достаточно высокое: моренные суглинки имеют сцепление $C = 0,08...0,19$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi = 18...42^\circ$, моренные супеси соответственно $C = 0,08...0,001$ МПа и $\varphi = 12...35^\circ$. Необходимо отметить, что моренные суглинки и глины, хотя и обладают значительной водопрочностью, все же размокают в воде и размываются водой. Эта способность моренных грунтов иногда является причиной деформаций откосов и дна выемок и котлованов. В инженерно-геологической практике моренные глинистые грунты в большинстве случаев считаются надежными основаниями для самых ответственных и тяжелых сооружений, что обусловлено плотным их сложением, очень низкой пористостью и сжимаемостью.

Среди *водноледниковых (флювиогляциальных)* глинистых отложений наиболее типичными являются широко известные в инженерно-геологической практике *ленточные глины*. Их образование происходило в приледниковых озерах, в которые вода поступала с

различной интенсивностью в течение года. При быстром течении воды и обильном поступлении ее в озера в летнее время откладывались слои с большим содержанием песка (песчанистые), а зимой при замедленном движении воды и незначительном ее поступлении в озера формировались глинистые слои. В результате произошло образование своеобразных песчано-глинистых толщ, характеризующихся четко выраженной ленточной слоистостью. Ленточным глинам свойственны высокая пористость (до 60—65 %) и высокая естественная влажность. Часто естественная влажность выше значений верхнего предела пластичности, а это значит, что в условиях естественного залегания описываемые глины находятся в скрытотекучем состоянии. Ленточное строение придает этим флювиогляциальным отложениям четко выраженную анизотропию в отношении целого ряда свойств. В частности, их водопроницаемость, которая в целом в ленточных глинах невелика, вдоль напластования значительно выше, чем перпендикулярно ему. Так, в песчаных и пылеватых прослоях, которые главным образом и создают возможность фильтрации, вдоль напластования коэффициент фильтрации $k_{\text{ф}} = 1 \cdot 10^{-1} \dots 1 \cdot 10^{-3}$ м/сут, а в глинистых прослоях он снижается примерно на два порядка, т. е. до $1 \cdot 10^{-5}$ м/сут. В связи с незначительной водопроницаемостью осушение водонасыщенной толщи ленточных глин является чрезвычайно трудной инженерной задачей и не всегда осуществимо. Ленточные глины в естественном состоянии могут без значительных деформаций выдерживать нагрузки до 0,3—0,4 МПа, даже если их естественная влажность превышает верхний предел пластичности. Повторное чередование нагрузки и разгрузки в этих пределах придавало, по данным ряда специалистов, ленточным глинам упругие свойства. Отмечено также, что после нарушения естественного сложения породы путем ее перемятия, сопровождающегося переходом грунта из скрытотекучего состояния в текучее, наблюдается резкое снижение прочностных свойств, а также снижение деформационных показателей. Это указывает на наличие в ленточных глинах внутренних связей между частицами, сообщающих породе дополнительную прочность, несмотря на ее высокую естественную влажность. Этому способствует наличие среди обменных катионов в ленточных глинах таких трехвалентных элементов, как железо и алюминий. Сопротивление сдвигу ленточных глин зависит от места расположения поверхности сдвига: если поверхность сдвига расположена в песчанистых прослоях, то значение сопротивления сдвигу значительно выше, чем если эта поверхность проходит по глинистым прослоям. Кроме того, ввиду анизотропности породы это сопротивление изменяется от направления сдвигающего усилия по отношению к поверхности напластования. Например, для водо-

насыщенных ленточных глин угол внутреннего трения, определенный в интервале давлений 0,1—0,2 МПа параллельно слоистости, равняется для глинистых слоев 11—13°, для пылеватых — 15—19°, для песчаных — около 24°. При сдвиге перпендикулярно слоистости этот угол в среднем равен 16°. Сцепление в глинистых слоях составляет 0,02—0,03 МПа, в пылеватых — 0,007—0,017 МПа. При нарушении естественной структуры сцепление как таковое не фиксируется.

Таким образом, ленточные глины характеризуются наличием четко выраженной ленточной слоистости, высокой пористостью, высокой естественной влажностью, достаточно высокой прочностью при естественном сложении, величина которой резко падает при его нарушении, четко выраженной анизотропией свойств.

Инженерно-геологические особенности озерных глинистых отложений. Озерные глины и суглинки имеют сравнительно неширокое распространение. Они, как правило, тонкослоистые, реже линзовидно-слоистые. Отличительной их особенностью является значительное содержание органических веществ, причем, как правило, растительные остатки в них плохо разложившиеся, что наиболее часто отмечается в высокодисперсных глинах. В озерных глинистых породах могут быть встречены любые глинистые минералы, галлузит и гидрослюда играют преимущественную роль. Из аутигенных неглинистых минералов отмечаются лимонит и другие оксиды железа, пирит, марказит, карбонаты и иногда минералы, состоящие из оксидов алюминия.

По условиям своего формирования озерные отложения очень сильно зависят от общих характеристик водоема (озера), его питания, наличия впадающих рек, несущих различный терригенный материал, от гидрологических параметров озера и впадающих в него водотоков, характера, состава и условий залегания горных пород, в которых находится озеро. Тем не менее названные особенности состава и строения озерных глинистых отложений являются достаточно типичными. Высокая пористость и значительное содержание органики, а также высокая естественная влажность обуславливают невысокие инженерно-геологические характеристики озерных отложений, таких, как прочность и сжимаемость. Пожалуй, лишь низкая водопроницаемость придаст им некоторый положительный оттенок.

Золовые глинистые отложения и их инженерно-геологическая характеристика. Собственно золовые глинистые грунты развиты нешироко. Среди них очень интересными образованиями являются современные глинистые дюны, образующиеся в равнинной частично заболоченной местности близ лагун. Илистые лагунные осадки, высыхающие в сухое время года и «скручивающиеся» в

результате этого в глинистые «стружки», переносятся ветром на некоторое расстояние. В результате многократного повторения этого процесса формируются глиняные дюны высотой до нескольких метров. К сожалению, эти образования в инженерно-геологическом отношении очень плохо изучены, а в качестве оснований сооружений не используются.

Инженерно-геологическая оценка морских глинистых отложений. Глинистые грунты очень широко распространены среди морских отложений. Они образуются практически во всех областях моря, в пределах которых отсутствует привнос крупного материала и существуют благоприятные гидрохимические и гидродинамические условия. Наибольшее распространение они имеют среди отложений глубоких частей моря. По своему составу эти глины наиболее однородны среди других типов глинистых пород.

Существуют различные *фациальные* типы морских глинистых отложений. *Прибрежные глинистые грунты* формируются в бухтах, заливах, лагунах и между островами у побережий, т. е. там, где отсутствует прибой и непрерывное перемешивание («взмучивание») осадков, а поступление с суши грубообломочного материала очень невелико. Эти отложения залегают в виде прослоев и линз мощностью от 0,2—0,3 до 8—10 м среди толщ изменяющегося состава и очень часто замещаются по простирацию песками, песчаниками, алевролитами, карбонатными и другими породами. Эти глинистые породы характеризуются некоторой неотсортированностью материала — в них встречаются крупнопесчаные и нередко грубообломочные включения. Они очень часто обогащены органическим веществом, которое встречается как в виде тонкодиспергированного материала (битума, гуминовых соединений), так и в виде растительных остатков. В этих глинистых отложениях развиты углистые разности. Состав глинистых минералов этого фациального типа морских глинистых отложений весьма разнообразен: гидрослюда, монотермит, хлориты, монтмориллонит, реже каолинит. Состав преобладающих минералов зависит от типа выветривания на суше, а также характера механизма переноса материала в море с суши. Глины часто слюдисты, содержат кальцит, сидерит, пирит, иногда сильно ожелезнены.

Глубинные глинистые грунты образуются на глубинах более 40—50 м. Они имеют большое площадное распространение (десятки и сотни квадратных километров) и значительную мощность (до 100 м и более). Гранулометрический состав их достаточно однороден, грубо- и крупнопесчаные частицы в них, как правило, отсутствуют. Наиболее однородные глины формируются на участках, удаленных от берега при отсутствии течений, которые способны привносить обломочный материал. Глины обычно

слоистые; слоистость эта тонкая горизонтальная, ленточная, иногда волнистая. Часто слоистость внутри слоев отсутствует или трудноразличима. В толще глин встречаются следы малых по масштабу оползневых явлений, микротектоники и т. д.

Ведущую роль в составе тонких фракций глубинных глин играют гидрослюды, реже монтмориллонит, еще реже каолинит, присутствует хлорит, сидерит, фосфоритовые, марганцевые и кремнеземистые включения, пирит в виде конкреций и зерен, глауконит, скопления слюды, битумы. Растительного детрита нет, равно как и нет другой органики.

На глубинах более 3500 м формируется *красная океаническая (пучинная) глина*. По своим свойствам это типичная глина: твердая в сухом состоянии, она легко размокает и даже расплывается в воде. Красная океаническая глина является результатом накопления минерального материала, приносимого ветром, морскими течениями, выпадающего материала при вулканических извержениях. К этому материалу примешивается поступающий на Землю космический материал. Все эти поступления подвергаются в морской воде коренной химической переработке. Соленость морской воды обуславливает некоторые важные в инженерно-геологическом отношении специфические особенности образующихся в морских условиях глинистых осадков. В частности, сравнительно высокая концентрация солей в морской воде (до 35 г/л) вызывает коагуляцию глинистой и коллоидной составляющих осадков с образованием между частицами коллоидных связей. Эти связи, упрочняясь во времени, формируют характерное для морских глин скрытопластичное (затвердевшее) состояние. С процессами коагуляции связано также образование слоистых микроструктур, которые и придают морским глинам часто встречающуюся высокую пористость. Как известно, среди растворенных в морской воде солей преобладают соли натрия и магния. Эти соли активно взаимодействуют с привносимым с суши тонкодисперсным материалом, в поглощаемом комплексе которого преобладает кальций, вызывая катионный обмен, при котором кальций переходит в раствор, а эти соли переходят в поглощенное состояние. Именно в связи с этим в большинстве морских глин в обменном комплексе преобладает натрий, который активно препятствует агрегации их глинистой и коллоидной составляющих. Однако не все глины морского генезиса натриевые, довольно много встречено доломитизированных и мергелистых их разновидностей, в которых присутствует значительное количество кальция. Для морских глин, естественно, характерным является наличие водно-растворимых солей. При кристаллизации эти соли создают жесткие связи, что увеличивает прочность породы. Удаление указанных солей изменяет состояние породы, вслед-

ствие чего ухудшаются его свойства. Наличие свободного кремнезема и оксидов железа в морских глинах обыкновенно ведет к увеличению их связности, прочности и водоустойчивости. Противоположную роль играют сульфиды железа и органические вещества, которые, разрушаясь, ведут к ухудшению инженерно-геологических характеристик пород в силу своих специфических особенностей.

Плотность и состояние морских глинистых пород весьма разнообразны. Разжиженные и мягкопластичные неуплотненные разности глин встречаются только в молодых, главным образом, современных осадках. Большинство более древних глин в платформенных областях находится в скрытотекучем или тугопластичном состоянии: по некоторым данным, их коэффициент уплотненности близок к единице или превышает ее. Повышенной уплотненностью часто обладают прибрежные глинистые образования, что во многих случаях определяется периодическим обсыханием прибрежных участков дна моря. Это приводит к высыханию отложенных на них осадков. При таком высыхании многие коллоиды необратимо свертываются, пористость осадков уменьшается, а засоленность увеличивается. Сильно уплотненные глинистые породы, находящиеся в полутвердом или твердом состоянии, встречаются прежде всего в геосинклинальных и сильно дислоцированных областях, а также и в пределах платформ, но на значительной глубине. Многие морские глинистые отложения, несмотря на свою высокую уплотненность, подвержены на склонах оползневым явлениям, достигающим иногда колоссальных размеров. Это объясняет склонность морских глинистых пород к оползанию, что связано не с величиной их пористости или степенью уплотненности, а с их специфическими «глинистыми» свойствами, которые обуславливают при определенном содержании влаги в породе весьма низкие значения их сопротивления сдвигу.

Морские глинистые образования выветриваются достаточно энергично, образуя зону поверхностного выветривания, мощность которой (обычно не более 10 м) выше, чем у континентальных глинистых грунтов. Наибольшей склонностью к выветриванию обладают морские глины, которые образовались в резко выраженной восстановительной среде при значительном содержании сероводорода. В результате выветривания естественным образом прочность глин уменьшается, а сжимаемость увеличивается.

Инженерно-геологические особенности некоторых специфических глинистых отложений. Свойства и состояние глинистых грунтов связаны не только с их генезисом, но и с возрастом. Гравитационное уплотнение и высыхание грунтов и связанные с ним фи-

зико-химические процессы (выпадение солей, агрегация частиц и др.), часто имеющие необратимый характер, приводят к уменьшению пористости грунтов и увеличению прочности структурных связей в них. В результате этого древние глинистые грунты обладают, как правило, более благоприятными инженерно-геологическими характеристиками по сравнению с более молодыми и особенно современными образованиями.

Однако иногда достаточно прочные глинистые грунты встречаются и среди молодых четвертичных образований. Это связано, конечно, с их генезисом и специфическими условиями формирования.

Хвалынские шоколадные глины. Это верхнечетвертичные морские глины, распространенные в Поволжье, точнее в Прикаспии на глубине 1—20 м. По своим свойствам и физическому состоянию полутвердые разности этих глин близки к нижнемеловым породам аптского яруса Среднего Поволжья, залегающим на глубинах 40—80 м. Повышенная уплотненность и большая прочность хвалынских шоколадных глин в условиях отсутствия существенного гравитационного уплотнения указывают, что основное значение в диагенезе этих глин имели процессы высыхания морского осадка с сохранением первоначального содержания электролитов. Эти процессы обусловили формирование полутвердых глин с высоким значением коэффициента уплотненности и значительной прочностью при высокой их пористости, высокой концентрации солей в поровом растворе с выпадением их части в твердом виде. Вследствие быстрого упрочнения в процессе подсыхания в полутвердых разностях хвалынских глин образовались рыхлые структуры, исключающие их дальнейшее уплотнение при малых нагрузках (в пределах давлений до 1 МПа для них характерны только упругие деформации).

Со специфическими условиями формирования связаны также особенности рассмотренных выше *четвертичных* моренных глинистых грунтов, обладающих высокой плотностью и прочностью.

Спондиловые палеогеновые глины. Существенное влияние на состояние и свойства глинистых грунтов оказывают также современные условия их залегания. В частности, свойства глинистых грунтов, распространенных под современными речными долинами, оказываются несколько отличными от свойств тех же по возрасту и генезису глин, залегающих под современными междуречными плато. Различия в состоянии и свойствах глин одного и того же возраста и генезиса, характеризующихся различными современными условиями залегания, обусловлены в первую очередь, неодинаковым их напряженным состоянием, явившимся следствием различной истории формирования и развития отдель-

ных участков местности на протяжении четвертичного периода. Это достаточно четко проявляется и в случае так называемых спондиловых глин.

Рассматриваемые отложения являются фацией относительно глубокого (до 500 м) моря платформенного типа. Основным процессом в их литификации в условиях опускания морского дна явилось постепенное гравитационное уплотнение под действием веса накапливающихся выше осадков. В четвертичную эпоху к весу этих отложений добавлялось и давление ледника. В среднечетвертичную эпоху условия развития спондиловых глин на различных участках территории дифференцируются. В результате врезания речных долин в дочетвертичные отложения возникают естественные области разгрузки, которые затрагивают и спондиловые глины. Наиболее глубокие размывы, вызвавшие почти полную разгрузку палеогеновых глин от давления перекрывавших их пород, происходили в позднечетвертичное время. В приуроченных к речным долинам областях разгрузки спондиловые глины подвергались разуплотнению и выветриванию в климатических условиях, которые практически отвечали современным. Итогом этих весьма сложных процессов (но, конечно, не самых сложных, которые возможны при формировании геологических тел) явилось то, что в указанных районах спондиловые глины имеют повышенные влажность, пористость, трещиноватость и пониженную прочность. Указанные изменения физического состояния и прочностных параметров прослеживаются практически по всей мощности толщи спондиловых глин. Сформировавшиеся различия свойств палеогеновых глин, залегающих в пределах междуречных плато (на глубинах 50—75 м) и речных долин, обуславливают их различное поведение в горных выработках: горное давление в спондиловых глинах в области разгрузки проявляется более интенсивно и более длительное время по сравнению с глинами областей, где изменений во внешней нагрузке на них не было.

ПРИРОДНЫЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ

К органоминеральным грунтам относятся илы, сапропели и заторфованные земли.

Органоминеральные грунты представляют собой своеобразные осадочные образования, которые часто занимают большие, но локальные площади. Своим происхождением они обязаны водной среде и располагаются в речных долинах, на низких берегах морей, озер, водохранилищ, в пониженных частях рельефа, на территориях с высоким положением уровней грунтовых вод, на-

пример в тундре. Органоминеральные грунты наиболее типичны для территорий, где развиты болота.

Все органоминеральные грунты высокопористы и водонасыщены. В их составе: 1) песчано-пылевато-глинистые частицы; 2) органический минерал; 3) воды, которые присутствуют обязательно и в большом количестве. Во многих этих грунтах воды бывает больше, чем минеральной и органической частей (рис. 56). Органический минерал содержится в следующих количествах: илы — в основном гумус и в количестве не менее 10 %; сапропели — до 30 % гумуса с примесью растительных остатков; заторфованные грунты — до 50 % растительных остатков с примесью гумуса.

Оценка органоминеральных грунтов производится по следующим характеристикам:

- природная влажность W ;
- плотность грунта и частиц;
- содержание органических веществ;
- полная влагоемкость W_n ;
- коэффициент фильтрации k_f ;
- модуль деформации E .

Ил — водонасыщенный современный (или древний) осадок дна водоемов в виде песчано-пылевато-глинистых масс с органическим перегноем (гумусом). Окраска черная, масса рыхлая, количество воды превышает содержание минеральной части (за исключением древнего ила). Ил следует считать начальной стадией формирования глинистой осадочной породы. Мошность слоев илов колеблется от сантиметров до нескольких метров. Модуль деформации E колеблется от 0,1 до 2 МПа. Коэффициент пористости для илов супесчаного состава составляет 0,8—1,2; суглинистого 0,9—1,6 и глинистого 1,2—2. Илы практически не держат нагрузки, под нагрузкой легко выдавливаются, при динамическом воздействии переходят в разжиженное состояние. Не-

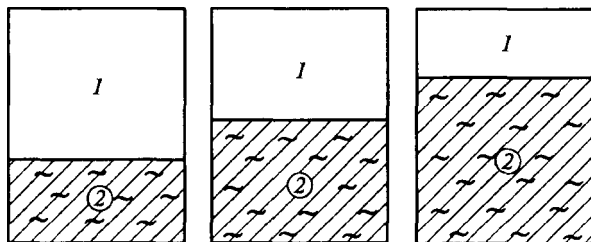


Рис. 56. Сравнительное соотношение количества воды (1), минеральной и органической частей (2) в органоминеральных грунтах

большую нагрузку выдерживают лишь древние илы, особенно если они перекрыты какой-либо толщей глинистых отложений.

Сапропели — это рыхлые водонасыщенные песчано-пылеватоглинистые отложения, содержащие органический материал. Мощность слоев сапропелей от 1 до 20 м. Более или менее уплотненный сапропель называют *сапроколом*.

Почвы. К органоминеральным грунтам следует отнести почвы, которые практически повсеместно (кроме пустынь и отчасти полупустынь) залегают непосредственно на дневной поверхности земли и генетически являются элювиальным образованием.

Различают почвы песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые. Все они, как и грунты, имеют особенности своей структуры и содержат органический материал в виде перегноя (гумуса) в количестве от 3 до 12 % и корни травяной, кустарниковой и древесной растительности. Мощность слоев почв колеблется от 0,3—0,5 до 1,5, редко до 3 м. Почвы необходимы сельскому хозяйству и поэтому их следует сохранять. Перед производством строительных работ слой почвы необходимо срезать, складировать и использовать по своему назначению в местах, где почвенный слой отсутствует. Уничтожать почву запрещено законом.

В толщах лессовых отложений присутствуют слои «погребенных» почв. Это древние почвы, имеющие небольшую мощность и по физико-механическими свойствами мало чем отличающиеся от вмещающих их грунтов.

Строительство зданий и сооружений на органоминеральных и органических грунтах представляет собой сложную задачу, поэтому осуществляется по специальным нормативам.

В каждом случае используются разные мероприятия по предотвращению возможных деформаций оснований и повышению их несущей способности: 1) для илов и сапропелей; 2) для торфов и заторфованных грунтов.

Илы и сапропели. При строительстве следует помнить, что слой ила на дне водоемов всегда обладает худшими свойствами, чем слой погребенного ила. При использовании илов в качестве оснований необходимо различать условия их залегания: ил залегает на дне водоема и подстилается глиной и песком или слой ила залегает между слоями глин и песков. Для улучшения свойств оснований, сложенных илами, возможно:

- заменять ил на другой грунт;
- прорезать слой ила сваями и опираться на прочные грунты;
- на ил накладывать наброску камня, т. е. фактически заменять ил каменным массивом;
- на ил намыывать слой песка, который хорошо воспринимает нагрузки от объектов и в последствии обеспечивает свободный вы-

ход воды из ила, заключенный между пылевато-глинистыми грунтами, предварительно должен уплотниться за счет оттока воды через дренажные скважины; это одновременно сокращает сроки уплотнения грунтов.

Заторфованные грунты — это песчано-пылевато-глинистые водонасыщенные грунты, но с большим содержанием органических веществ (до 50 %) в виде остатков корней растений с примесью гумуса. При оценке свойств этих грунтов большое значение имеет *степень разложения растительных остатков* R_p . По этому признаку их разделяют на четыре разновидности R_p : от 0 до 15 %; 16—30 %; 31—50 %; более 50 %.

Наиболее типичным представителем органических грунтов является *торф*, сложенный из неполно разложившихся болотных растений. Окраска чаще всего темно-коричневая. В торфах всегда имеется примесь песка, пылеватых и глинистых частиц. Растения создают волокнистый каркас, что является его структурой. Большинство торфов сформировалось в древние времена и на сегодня между собой различаются по степени разложения растительных остатков и геологическому строению. На рис. 57 показаны различные случаи геологического строения торфяников. Слой торфа может плавать на воде, либо лежать на сапропеле или непосредственно на минеральном дне, т. е. на слое глины. В зависимости от этого мощность слоев торфа бывает различной — от нескольких сантиметров до десятков метров.

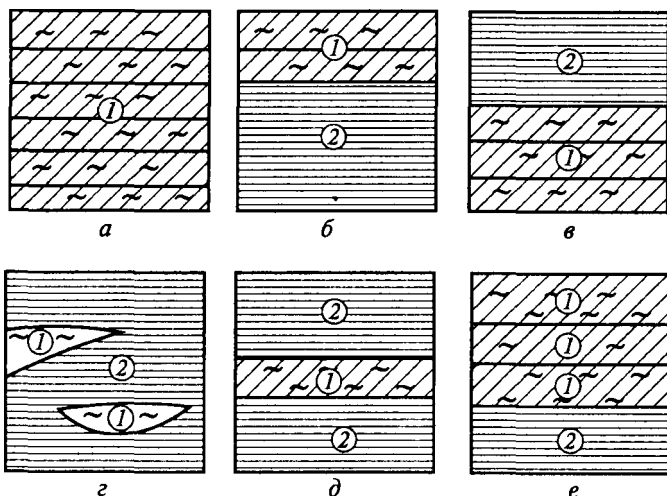


Рис. 57. Варианты геологического строения толщ из заторфованных грунтов:

1 — слои заторфованных грунтов; 2 — слои песчано-пылевато-глинистых грунтов

Все органоминеральные и органические грунты содержат воду, которая обладает агрессивными свойствами по отношению к строительным материалам. В связи с непрерывным гниением растительных остатков их свойства очень изменчивы во времени. Модуль деформации E обычно меньше 5 МПа. Лучше всего нагрузки держат древние, более плотные торфы.

Торфы являются полезными ископаемыми (энергоносители, удобрение и сырье для химической промышленности) и поэтому рассматривать этот грунт только как основание объектов нецелесообразно. Строительство на заторфованных грунтах в зависимости от их свойств, мощности слоев осуществляется в двух направлениях: 1) без специальных мероприятий с применением только конструктивных строительных решений в зданиях и сооружениях; 2) с использованием специальных строительных работ.

Специальные строительные работы очень разнообразны и распределяются на ряд видов в зависимости от вариантов геологического строения заторфованных толщ. Для каждого варианта рекомендуются свои специальные работы, которые могут быть в виде:

- прорезки (полной или частичной) слоя заторфованного грунта фундаментами, в том числе свайными;
- частичной или полной срезки (выторфовка) заторфованного грунта с последующей засыпкой, планировкой площади песчаными (гравийным, щебеночным) материалами;
- предварительного уплотнения заторфованных грунтов, в том числе с помощью дренажных скважин.

При выборе вида специальных строительных работ необходимо учитывать свойства и мощность слоев песчано-пылевато-глинистых грунтов, которые подстилают или перекрывают заторфованные грунты.

Основные инженерно-геологические особенности торфов. Отличительной чертой торфов является их чрезвычайно высокая влажность в естественном залегании. В массиве она может достигать 500—1000 и даже 2000 % и более (по отношению к весу сухого вещества).

Плотность скелета торфов — величина более чем малая, в основном 0,07—0,2 г/см³, очень редко отмечены значения 0,5 г/см³. Соответственно пористость чрезвычайно высока. В условиях естественного залегания влажность торфов в соответствии с их огромной влагоемкостью практически всегда выше влажности верхнего предела пластичности, т. е. торф практически находится в скрыто-текучей консистенции. В естественных условиях торф обладает весьма низкой способностью к набуханию, при высыхании же его наблюдается значительная усадка. Торф — порода водопроницаемая, оказывает достаточно сильное влияние на водопроницае-

мость, в первую очередь, степень разложения органических остатков, а также обладает такой особенностью, как анизотропия свойств, которая обусловлена слоистостью, образовавшейся в процессе формирования торфяных залежей.

Отличительной чертой торфов является их исключительно сильная сжимаемость под нагрузкой, значение которой в десятки и сотни раз выше, чем у обычных (минеральных) грунтов. При этом в торфах, как и в других грунтах, наблюдаются как остаточные, так и упругие деформации, причем остаточные имеют значительные величины. При снятии нагрузки происходит некоторое увеличение пористости уплотненного торфа, что обусловлено упругими свойствами структуры торфа и небольшим всасыванием воды. При нарушении первоначальной структуры торфа уплотняемость его увеличивается на 10—30 %.

Результаты исследований прочностных характеристик торфов свидетельствуют о значительных величинах сцепления и угла внутреннего трения при сравнительно высоких значениях влажности (200—1000 %). При дальнейшем росте влажности сцепление и угол внутреннего трения постепенно снижаются и падают до нуля при влажности около 1500 %. Например, при влажности 300 % угол внутреннего трения равняется 24—30°, а сцепление 0,03—0,05 МПа, а при влажности 1500 % всего 0—5° и 0,004—0,01 МПа. В целом торфяные грунты достаточно неоднородны по своему генезису, составу, строению и состоянию, что естественно влечет за собой очень широкий диапазон изменения их инженерно-геологических характеристик. Торфы обладают огромной влажностью, значительной пористостью и, как следствие этого, очень сильной сжимаемостью. Неоднородность строения и состава торфяной залежи и сильная сжимаемость торфа могут привести к значительным неравномерным осадкам возводимых на них сооружений. Эти осадки обычно протекают в течение длительного периода времени. Кроме того, следует иметь в виду, что торфяным грунтам в отличие от минеральных свойствен еще один вид доуплотнения, происходящего под влиянием микробиологических процессов, протекающих в веществе торфа и сопровождающихся его минерализацией.

С инженерно-геологической точки зрения при оценке площади строительства сооружения следует в значительной мере опасаться наличия линз и прослоев торфа в толщах минеральных грунтов, что может привести к повышенной неоднородности и сильной сжимаемости всего основания в силу указанных выше причин. Инженерно-геологические изыскания на торфяных грунтах требуют особой тщательности.

Засоленные грунты. К дисперсным засоленным относятся грунты, содержащие значительное количество водорастворимых

солей. В литологическом отношении это могут быть пески, супеси, суглинки, глины и в некоторых случаях даже крупнообломочные грунты. Засоленные грунты типичны для поверхности земли и свойственны районам с засушливым климатом. Появление солей в грунтах связано со многими причинами:

- жаркий климат, при котором испарение преобладает над количеством выпадающих атмосферных осадков;
- бессточный для воды рельеф местности;
- подтопление территорий грунтовыми водами, вызванное неправильной эксплуатацией человеком оросительных систем;
- попадание определенной части водорастворимых солей в грунты при их формировании.

Соли в грунтах присутствуют в различных формах:

- в виде отдельных крупных кристаллов;
- в виде мелких рассеянных кристаллов по всей массе грунта;
- в форме больших скоплений (друз), разбросанных по всему массиву грунта.

В грунтах обычно присутствуют все эти формы солей, но в силу каких-либо причин одна из них занимает основное место.

Среди водорастворимых солей в грунтах находятся легко- и среднерастворимые соли. К легкорастворимым относятся: хлориды (типа минерала галита) и кислые соли угольной кислоты; к среднерастворимым — сульфаты (типа гипса). Карбонаты (типа кальцита) тоже растворяются в воде, но к числу водорастворимых их можно относить с известной условностью. Их растворение происходит длительное время и при наличии в воде агрессивной уголекислоты.

Количество солей, оказывающих влияние на изменение свойств, в различных грунтах неодинаково и колеблется от 0,3 до 5 % и больше (к весу грунта). Вот некоторые примеры грунтов, которые считаются засоленными при следующем количестве солей: пески — 0,5 % и более; пылевато-глинистые грунты — 5 % и более; крупнообломочные грунты — 2 % и более.

К основным типам засоленных глинистых грунтов относятся солончаки, солонцы и такыры. *Солончаки* формируются в долинах рек, соленых озерах, лиманах и содержат серно-кислые соли натрия, хлориды кальция и магния. *Солонцы* располагаются на высоких участках рельефа местности и содержат карбонаты натрия (соду), сульфаты натрия и гипс. *Такыры* — большие равнинные площади, покрытые глинистыми грунтами твердой консистенции и разбитые сетью трещин усадки. Такыры содержат гипс, карбонаты и небольшое количество легкорастворимых солей. Количество солей и их состав в грунтах определяются химическими лабораторными анализами.

В природных условиях, например, при неправильном орошении сельскохозяйственных полей нередко происходит «засоление» почв и грунтов. В районах строительства на территориях, где эксплуатируются здания и сооружения с большим водообменом, обычно наблюдается обратный процесс — «рассоление».

Водорастворимые соли в определенной мере упрочняют грунты, так как являются их цементирующей составляющей, но грунтовые основания зданий и сооружений никогда не остаются сухими. В период эксплуатации основания объектов, как правило, обводняются, возникает постоянная фильтрация воды. Все это приводит к растворению солей, рассолению грунтов оснований, т. е. к выщелачиванию солей. В отличие от механической суффозии это чисто химический процесс. При растворении солей изменяются, в первую очередь, их физико-механические свойства оснований: прочностные и деформационные показатели, а также пластичность, пористость, гранулометрический состав. Вначале вымываются легкорастворимые соли, после этого, в результате уже длительной фильтрации воды, выносятся средне- и даже труднорастворимые соли. Растворение и вынос гипса из суглинков, супесей, песков и крупнообломочных грунтов может происходить в сроки, соизмеримые с периодом эксплуатации зданий и сооружений.

Строительство на засоленных грунтах имеет свои трудности и осуществляется по своим нормам и правилам. При возведении объектов используются различные приемы строительства:

- прорезка фундаментами зданий слоя засоленного грунта;
- водозащита оснований от проникновения в них атмосферных и технических вод;
- прекращение фильтрации подземной воды устройством дренажей и непроницаемых завес;
- отсыпка на засоленный грунт безсолевых грунтовых подушек из песка или суглинков;
- предпостроечное рассоление и уплотнение грунтового основания;
- искусственное закрепление засоленного массива грунта методами технической мелиорации (кроме крупнообломочных грунтов, обладающих высокой фильтрационной способностью).

Выбор того или иного приема зависит от геологического строения и гидрогеологических условий строительной площадки, типа и вида грунтов оснований, характера засоления, конструкций объекта и технических возможностей строительной организации.

ПРИРОДНЫЕ МЕРЗЛЫЕ ГРУНТЫ

Мерзлые грунты в технической литературе часто именуют «криогенными» (криос, гр. — холод, лед). Для грунтов этого класса характерны структуры с криогенными связями, т. е. структуры, скрепленные ледяным цементом. Мерзлое состояние грунтов, т. е. в условиях отрицательных температур, бывает временным и постоянным (вечным).

Временное мерзлое состояние. На территориях, где бывает зима с отрицательными температурами, грунты у поверхности земли промерзают. Это так называемая «сезонная» мерзлота. Скальные грунты при этом получают отрицательную температуру, а дисперсные и техногенные замерзают за счет перехода в порах грунтов жидкой воды в твердое состояние (лед). В скальных грунтах вода замерзает в трещинах и активно их разрушает за счет расклинивающего действия образующегося льда (увеличение объема льда достигает 9,1 %).

В процессе сезонного промерзания дисперсные связные и несвязные грунты за счет ледяного цемента приобретают повышенную прочность, несколько увеличивают объем и становятся водонепроницаемыми. Предел прочности при сжатии мерзлых суглинков и глин достигает 6 МПа и более, что создает большие трудности при механической разработке. При небольшой влажности, что может быть в песках, свойства грунтов при переходе от положительной к отрицательной температуре практически мало меняются.

В весеннее время года лед в грунтах растаивает. Дисперсные грунты теряют прочность, становятся водонасыщенными. Особенно сильно это сказывается на органоминеральных и органических грунтах, которые могут переходить в разжиженное состояние с весьма малой несущей способностью. Такие грунты могут выдавливаться из-под зданий и фундаментов сооружений.

В строительстве сезонное промерзание грунтов всегда учитывается, определяется глубина промерзания d_f , которая зависит от климата и литологических особенностей грунтов. Величина d_f колеблется от нескольких сантиметров до 2—3 м и определяется:

- по карте соответствующего СНиПа, где показывается среднее значение по каждой местности;
- по расчетным формулам;
- по итогам многолетних наблюдений (более 10 лет) за глубиной промерзания в данной местности; искомое значение используют при проектировании зданий и сооружений.

Вечная мерзлота. Иногда грунты постоянно (тысячи лет) находятся в мерзлом состоянии. Их изучает наука «Геокриология». Территорию, которую они занимают, именуют *криолитозоной*. Происхождение вечной мерзлоты связывают с периодом оледенений северного полушария Земли, последнее из них было 10—15 тыс. лет назад.

Вечная мерзлота в России занимает ряд территорий на севере Европейской части России и особенно большие площади в Сибири, где в многолетнемерзлом состоянии находятся грунты скальные, полускальные, дисперсные. К классу мерзлых грунтов относят также чистые льды, входящие в грунтовые толщи в виде прослоев и линз, также льды подземных пещер. Кроме России вечномерзлые грунты распространены на Аляске, в Гренландии, Северной Монголии.

В России территорию вечномерзлых грунтов делят на три зоны: сплошную; с таликом; островную (рис. 58).

Сплошная мерзлота занимает крайний север Сибири, мощность мерзлой толщи сотни метров, температура грунтов минус 7—12 °С.

Зона с таликами располагается южнее. Отдельные участки зоны представляют собой талые грунты; мощность мерзлых толщ 20—60 м при температуре 0,2—2 °С.

Зона островной мерзлоты занимает территорию юга Сибири; мерзлые грунты встречаются в виде отдельных участков; мощность толщ 10—30 м; температура от 0 до -0,3 °С.

Вечномерзлая толща по вертикали разделяется на две части: 1) деятельный слой; 2) собственно мерзлая толща.

Деятельный слой — это верхняя часть толщи вечной мерзлоты, которая в летний период оттаивает и промерзает зимой, т. е. в определенной мере — это сезонная мерзлота. Мощность этого слоя зависит от климата и литологического состава грунтов и колеблется от 0,3 до 4 м. На Севере мощность минимальная, на Юге — наибольшая. В одном и том же месте в торфе или глине мощность слоя может быть 0,2—1 м, в то же время как в песках и гравии, имеющих открытые поры, — 2—4 м.

Р и с. 58. Зоны многомерзлых грунтов в Сибири (схема):

I — сплошная; II — с таликами;
III — островная



Деятельные слои бывают двух видов: *сливающиеся* (типичные северным районам); *несливающиеся* (рис. 59). В первом случае деятельный слой в зимнее время полностью промерзает и сливается с вечной мерзлотой, на которой лежит. При несливающемся деятельном слое между ним и вечномерзлой толщей остается слой незамерзшего грунта. Это бывает связано либо с теплой зимой, либо с характером деятельного слоя.

Для решения строительных задач важно знать мощность деятельного слоя. Эту мощность можно определить:

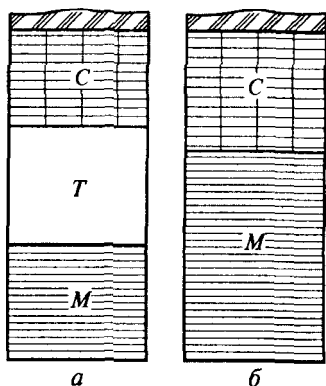
- при инженерно-геологических изысканиях;
- по многолетним (более 10 лет) наблюдениям за данным районом;
- расчетным способом, при котором учитывается тепловое влияние будущего здания или сооружения.

В деятельном слое располагается надмерзлотная вода (грунтовая), залегающая на вечной мерзлоте, как на водоупоре (подземные воды вечной мерзлоты подробно рассматриваются в разделе «Гидрогеология»).

Строительство в области вечной мерзлоты во многом зависит от характера деятельного слоя — мощности, физических и физико-механических характеристик грунтов, поведения надмерзлотной воды. С этим слоем связаны земляные работы и многие негативные процессы, приводящие к деформации объектов.

Вечномерзлая толща по своему строению бывает двух видов:

- 1) непрерывная, т. е. в виде сплошного массива из мерзлого грунта;
 - 2) слоистая — в виде чередования мерзлых слоев со слоями (прослоями) талых грунтов или чистого льда.
- Наличие талых грунтов связано с циркуляцией межмерзлотных (межпластовых) напорных подземных вод. В долинах рек Лены, Енисея и других мерзлота отсутствует. Это объясняется притоком тепла от речных вод. В южной зоне мерзлота постепенно оттаивает за счет теплого климата и в настоящее время сохраняется только на отдельных участках («островная» мерзлота). В мерзлых толщах очень часто содержится чистый лед (слои, прослои, линзы). Наибольшие мощности льда (до 20 м) отмечены на севере Сибири. Такой лед называется «погребенным».



Р и с. 59. Типы деятельных слоев:

a — несливающийся; *b* — сливающийся; *C* — сезонная мерзлота; *T* — талый грунт; *M* — вечная мерзлота

Состоянию вечной мерзлоты подвержены все виды грунтов. Грунты скального класса занимают незначительное место. Основную массу мерзлых толщ составляют дисперсные грунты (супеси, суглинки, глины, пески и т. д.).

По физическому состоянию вечномерзлые грунты разделяют на три вида:

- твердомерзлые, например сцементированный («смерзшийся») песок, который ведет себя как скальный грунт;
- пластично-мерзлые, примером могут быть сцементированные льдом глинистые грунты, которые содержат также воду в жидком состоянии; эти грунты могут под нагрузкой сжиматься;
- сыпучемерзлые — в виде песка, гравия и им подобным, в которых обломки и частицы льдом не сцементированы и грунты находятся в рыхлом состоянии.

Физико-механические свойства мерзлых грунтов существенно зависят от характера распределения в них льда и формы льда. Это обуславливает три текстуры мерзлых толщ:

- массивная — лед в грунте распределен равномерно;
- сложная — лед кроме кристаллов присутствует в виде слоев (прослоев, линз);
- сетчатая — слои и прослои льда пересекаются в разных направлениях.

При оценке свойств большое значение имеет общее количество льда в объеме грунта. Для этого введено понятие льдистость. Суммарная льдистость обозначается $J_{\text{лр}}$.

Для вечномерзлых территорий характерен ряд *криогенных процессов* — морозное пучение, бугры пучения, термокарст, солифлюкция и наледи и др.

Морозное пучение проявляется зимой в виде локальных поднятий дорожных одежд (на 0,2—0,5) в силу промерзания деятельного слоя. Весной грунт оттаивает и на месте пучения образуется яма. Морозное пучение, которое оценивается коэффициентом k_n , предупреждается рядом мероприятий, отраженных в проектной документации.

Бугры пучения образуются в результате подъема промороженного деятельного слоя за счет давления снизу межпластовых напорных подземных вод. Бугор растет несколько лет и достигает больших размеров по высоте и ширине. После оттаивания бугров образуются небольшие западины или даже озера.

Термокарст представляет собой процесс вытаивания льда в мерзлой толще за счет поступления тепла с поверхности земли. В результате поверхность земли начинает проседать, а иногда просто образует провалы.

Солифлюкция — оплывание оттаивающих в летнее время грунтов, которые залегают на обогреваемых солнцем склонах рельефа (с уклоном $7-10^\circ$). Оплывание происходит по мерзлым грунтам. Солифлюкционные потоки мощностью до 3—5 м способны переносить валуны (глыбы) массой до 5 т.

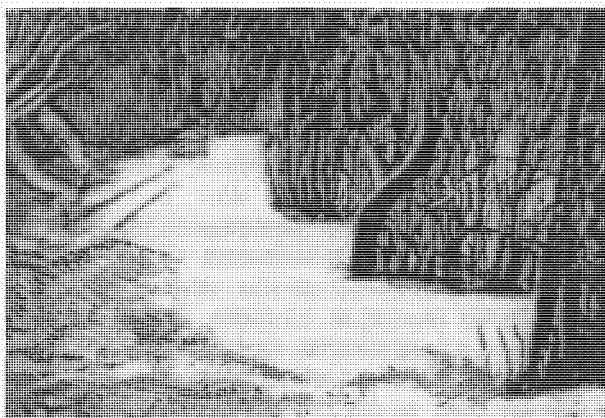
Наледи представляют собой образование льда за счет прорыва на поверхность земли надмерзлотных (грунтовых) вод или выхода речных вод на свой ледяной покров. Вода заливает подвалы, и здания разрушаются. На рис. 60 показана наледь на берегу реки.

Строительство и эксплуатация объектов на территории вечной мерзлоты представляет собой сложную работу и осуществляется по специальным нормативам. При земляных работах строителям приходится разрабатывать вечную мерзлоту, как скальный грунт. Поэтому при строительстве стремятся не делать выемок.

Деформации зданий и сооружений связаны с оттаиванием вечномерзлых грунтов. В целом строительство в районах вечномерзлых грунтов осуществляется по трем принципам:

- без учета мерзлого состояния мерзлых грунтов, например при наличии скального основания;
- при сохранении мерзлого состояния грунтов на весь период эксплуатации объектов;
- с предварительным (до строительства) оттаиванием мерзлых грунтов и последующим их укреплением или заменой на другие грунты, например глинистые грунты на щебеночные.

Выбор варианта или их комплексное применение зависит от геологии строительной площадки, состава и состояния мерзлых



Р и с. 60. Наледь на берегу реки

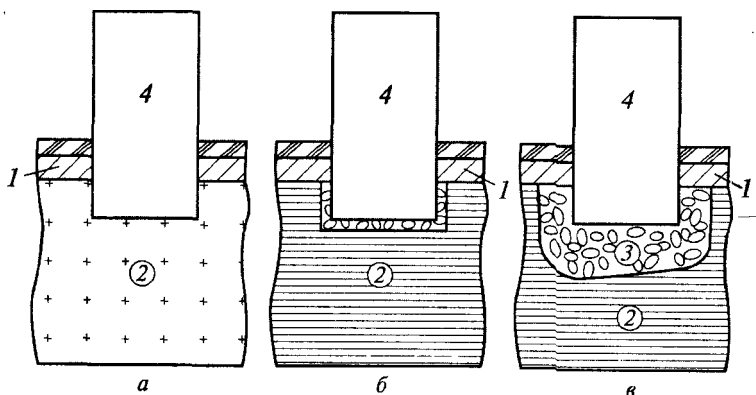


Рис. 61. Возведение зданий на вечномерзлых грунтах:

а — на скальном основании; *б* — с сохранением мерзлоты; *в* — с заменой мерзлого грунта на слой гравия; 1 — деятельный слой; 2 — вечная мерзлота; 3 — гравий; 4 — здания

грунтов, технических возможностей строительной организации (рис. 61).

Эксплуатация зданий и сооружений в районах вечной мерзлоты требует непрерывного контроля за состоянием грунтов оснований, постоянных профилактических и ремонтно-восстановительных работ.

В условиях развивающегося экологического кризиса серьезной проблемой становится нарастающая тенденция к деградации вечной мерзлоты, что влечет за собой деформации сооружений. Проблема является геоэкологической и может быть разрешена ее методами.

ТЕХНОГЕННЫЕ ГРУНТЫ

Выше, при описании горных пород, мы уже останавливались на искусственных, в том числе и техногенных, образованиях. Здесь же мы сосредоточимся на грунтоведческой характеристике техногенных грунтов.

На поверхности литосферы при проведении различных строительных и горных работ, в результате производственной деятельности человека образуется достаточно большое количество отложений, представляющих собой или отходы хозяйственной деятельности человека (отвалы шахт, заводов, городские свалки и т. д.), или отложения, специально созданные человеком в строительных и производственных целях (намывные грунты, грунты обратной засыпки, насыпи дорог и т. д.). Эти образования получили название *техногенных грунтов*, иногда именуемых *антропогенными*.

В настоящее время именно под *техногенными грунтами* понимают естественные грунты и почвы, измененные и перемещенные в результате производственной и хозяйственной деятельности человека, и антропогенные образования. Под *антропогенными образованиями* следует понимать твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, в результате которой произошли коренные изменения состава, структуры и текстуры природного минерального и органического сырья.

Наибольшая часть искусственных грунтов на Земле приурочена к промышленным и городским территориям. Особое беспокойство при этом у человечества вызывают бытовые и производственные отходы, которые занимают очень большие, непрерывно расширяющиеся площади и уже наносят серьезный вред жизненной среде человека.

Большое количество искусственных грунтов образуется также в результате военных действий, что тоже значительно изменяет облик земной поверхности, существенно нарушает природные массивы горных пород, создает искусственные грунтовые накопления как из природных минеральных масс, так и за счет разрушенных зданий и сооружений.

Техногенные грунты используются в качестве оснований зданий и сооружений, а также материала для строительства различных инженерных сооружений (земляных плотин, насыпей автомобильных и железных дорог и пр.). Глобальный объем техногенных отложений в различных сооружениях измеряется сотнями миллиардов кубических метров. Только при добыче, переработке и сжигании твердого топлива каждые 5 лет в отвалах размещается около 40 млрд м³ пустых (для открытых разработок — вскрышных) пород и 2 млрд м³ золошлаков.

Нелишним будет указать на установленный факт: из 100 кг извлекаемого человеком для своих нужд сырья в окружающую среду возвращается 99 кг, но уже в виде отходов!

Классификация техногенных грунтов. Инженерно-геологические свойства техногенных грунтов определяются составом материнское породы или отходов производственной и хозяйственной деятельности и характером воздействия на них человека. По петрографическому составу техногенные грунты могут быть самыми различными. В соответствии с общепринятой классификацией грунтов ГОСТ 25100—95 «Грунты. Классификация» техногенные грунты выделены в отдельный класс.

Классификация техногенных грунтов (табл. 26) включает шесть таксономических единиц, выделяемых по следующим группам признаков:

- класс — по общему характеру структурных связей;

Классификация техногенных грунтов по ГОСТ 25100–95

Класс	Группа	Подгруппа		Тип	Вид	Разновидности
Скальные	Скальные Полускальные	Природные образования, измененные в условиях естественного залегания	Измененные физическим воздействием	Силикатные	Пироксениты, габбро, базальты, сиениты, андезиты, граниты, диориты, гнейсы, сланцы, кварциты, песчаники, аргиллиты	Выделяются по: 1) пределу прочности на одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии; 2) плотности скелета грунта; 3) коэффициенту выветрелости; 4) степени размягчаемости; 5) степени растворимости; 6) степени водопроницаемости; 7) степени засоленности; 8) структуре и текстуре; 9) температуре
					Карбонатные	
					Железистые	Железные руды
					Кремнистые	Опоки, трепела, диатомиты
					Сульфатные	Гипсы, ангидриты
					Галогенные	Галиты, карналиты
		Измененные физико-химическим воздействием		Силикатные	То же, что и для измененных физическим воздействием	
				Карбонатные		
				Железистые		
				Кремнистые		
				Сульфатные		
				Галогенные		

Класс	Группа	Подгруппа		Тип	Вид	Разновидности
Дисперсные	Связные	Природные образования, измененные в условиях естественного залегания	Измененные физическим воздействием	Минеральные: силикатные, железистые, полиминеральные	Глинистые грунты	Выделяются по: 1) гранулометрическому составу (крупнообломочные грунты и пески); 2) числу пластичности и гранулометрическому составу (глинистые грунты и илы); 3) степени неоднородности гранулометрического состава (пески); 4) показателю текучести (глинистые грунты); 5) относительной деформации набухания без нагрузки (глинистые грунты);
			Измененные физико-химическим воздействием	Органоминеральные	Илы, сапропели, загорфованные грунты	6) относительной деформации просадочности (глинистые грунты); 7) коэффициенту водонасыщения (крупнообломочные грунты и пески); 8) коэффициенту пористости; 9) степени плотности (пески и крупнообломочные грунты); 10) коэффициенту выветрелости; 11) коэффициенту растворимости; 12) относительному содержанию органического вещества (пески и глинистые грунты, торфы); 13) степени разложения; 14) степени зольности; 15) степени засоленности; 16) относительной деформации пучения; 17) температуре
				Органические	Торфы и др.	
	Несвязные	Природные перемещенные образования	Насынные, намывные	Минеральные: силикатные, карбонатные, полиминеральные	Крупнообломочные грунты, пески	

		Антропогенные образования	Насыпные, намывные	Отходы производственной деятельности	Бытовые отходы, промышленные отходы (строительные отходы, шлаки, шламы, золы, золашлаки и др.)	
Мерзлые	Скальные, полускальные	Природные образования, измененные в условиях естественного залегания	Измененные физическим (тепловым) воздействием	Ледяные минеральные	Все виды скальных и полускальных грунтов	Выделяются как соответствующие разновидности классов природных грунтов с учетом специфических особенностей и свойств техногенных грунтов и кроме того по: 1) льдистости за счет видимых ледяных включений; 2) температурно-прочностным свойствам; 3) степени засоленности; 4) криогенной текстуре
	Связные, несвязные, ледяные	Природные образования, измененные в условиях естественного залегания	Измененные физическим (тепловым) воздействием			
		Природные перемещенные образования	Насыпные, намывные	Ледяные органические, льды	Бытовые отходы, промышленные отходы (строительные отходы, шлаки, шламы, золы, золашлаки и др.). Искусственные льды	
		Антропогенные образования	Насыпные, намывные, намороженные			

- группа — по характеру структурных связей (с учетом их прочности);
- подгруппа — по происхождению и условиям образования;
- тип — по вещественному составу;
- вид — по наименованию грунтов (с учетом размеров частиц и показателей свойств);
- разновидность — по количественным показателям вещественного состава и структуры грунтов.

К недостаткам данной классификации относят отсутствие в классификации техногенных грунтов указаний на источники и способы формирования этих грунтов, на плановость или неплановость отсыпания (намыва) грунтов, целенаправленно или случайно изменены грунты и др. В связи с этим специалистами ряда организаций предложен несколько другой подход к классификации техногенных грунтов (табл. 27). Однако и данная классификация не лишена недостатков и требует дальнейшего уточнения.

Инженерно-геологические особенности техногенных грунтов будут рассмотрены ниже на третьем уровне их подразделения (подгруппа) в соответствии с классификацией ГОСТ 25100—95.

Культурные слои. Эти образования имеют своеобразные состав, обусловленный чаще всего геологическими условиями местности и включениями, которые определяются характером хозяйственно-культурной деятельности человека. Они имеют обычно весьма неоднородный состав как по площади, так и по вертикали. Культурные слои в условиях роста масштаба градостроительства, урбанизации широко вовлекаются в строительную практику. В связи с неоднородностью и изменчивостью по площади состава и строения их изучение требует больших усилий и затрат. Поэтому строительство на многометровых культурных слоях является сложной задачей и требует при инженерно-геологических изысканиях разработки специальных материалов, способов и приборов, которые в итоге позволят надежно осуществлять строительство зданий и сооружений на территориях отвалов строительного мусора, бытовых и производственных отходов. На территориях старых кладбищ строительство запрещено; равно как и на скотомогильниках.

Природные перемещенные образования. К природным перемещенным образованиям относятся природные грунты, изъятые из мест их естественного залегания и подвергнутые частично производственной переработке в этом процессе. Природные перемещенные образования формируются, как правило, из дисперсных связных и несвязных грунтов. Скальные и полускальные грунты сначала подвергаются дроблению (например, взрывам) и перемещаются

Генетическая классификация техногенных грунтов по И.В. Дудлеру (с дополнениями авторов)

Класс	Группа	Подгруппа		Тип
Технообразованные	Планомернообразованные	Насыпные	Свалки	Твердые коммунальные и бытовые отходы, строительные и производственные отходы
			Отвалы	Шлаки металлургические, золошлаки, шламы, шахтные терриконы
		Намывные	Гидроотвалы	Золошлаки, искусственные льды, золы, шламы, хвостохранилища ГОК
	Непланомернообразованные	Насыпные	Свалки и полигоны	Твердые бытовые отходы (ТБО), строительные и производственные отходы
			Отвалы	Шлаки, золошлаки, шламы
Техногенно-переотложенные	Планомернопереотложенные	Насыпные	Отвалы	Грунты обратной засыпки, насыпи, плотины, дамбы, локальные грунтовые сооружения, вскрышные породы
		Намывные	Гидроотвалы	Плотины, дамбы, хвостохранилища горно-добывающих предприятий, намывные территории, локальные сооружения. Вскрышные породы ГОК
	Непланомернопереотложенные	Насыпные	Отвалы	Грунты обратной засыпки, вскрышные породы, насыпи при производстве земляных работ, горные выработки
Техногенно-измененные	Планомерноизмененные	Измененные физическим воздействием в естественном залегании		Уплотненные, разуплотненные, обезвоженные, замороженные, оттаявшие
		Измененные химико-физическим воздействием		Увлажненные, осушенные, химически закрепленные, химически модифицированные
	Непланомерноизмененные	Измененные физическим воздействием в естественном залегании		Разуплотненные, оттаявшие. Уплотненные без расчетов
		Измененные химико-физическим воздействием		Разуплотненные, оттаявшие, засоленные

уже как дисперсные крупнообломочные грунты. То же относится и к классу мерзлых грунтов.

Природные перемещенные образования по способам укладки делят на насыпные и намывные.

Насыпные грунты по технологии своего образования подразделяют на планомерно и непланомерно отсыпанные. В свою очередь, их можно разделить на строительные и промышленные. К насыпным строительным грунтам следует отнести в первую очередь грунты насыпей автомобильных и железных дорог, плотин и дамб, насыпи под основания зданий и сооружений, грунты обратной засыпки при строительстве подземных линейных сооружений. К промышленным — выработанные породы горно-рудной промышленности, вскрышные породы, породы из горных выработок.

Насыпные грунты формируются из грунтов соседних выемок или за счет материала, доставленного из специально закладываемых котлованов, карьеров и разрезов к месту строительства. Структура грунтов в насыпях будет иной по сравнению со структурой их в естественном залегании; водный и воздушный режимы тоже будут отличаться от природного воздушного и водного режима почв и грунтов данного района.

К характерным инженерно-геологическим особенностям грунтов насыпей и отвалов относятся:

- нарушение структуры грунта в теле насыпи, обуславливающая снижение прочности (по сравнению с естественным залеганием);
- фракционирование грунтов и самовыполаживание отвальных откосов;
- существенное изменение прочности насыпных грунтов во времени (сопротивление сдвигу увеличивается в связи с уплотнением или снижается при увлажнении грунтов насыпи);
- возникновение в водонасыщенных глинистых грунтах насыпи порового давления, являющегося существенным фактором развития оползней различных типов.

В процессе подготовки грунтов к выемке и при выемочно-погрузочных, транспортных и отвальных работах происходит разрыхление грунтов. Коэффициент разрыхления песков (отношение плотности в условиях естественного залегания и в насыпи) составляет 1,1—1,25; у глин он может увеличиваться до 1,6.

В зависимости от литологического состава различают однородные и неоднородные насыпи. Неоднородность насыпи может быть вызвана естественным фракционированием грунтов в процессе их отсыпки. При этом мелкие и крупные фракции грунтов концентрируются соответственно в верхней и нижней частях насыпи. Такое сложение насыпи происходит и в случае отсыпки

разнородных по составу грунтов, например песков и глин. Песчаная масса при этом концентрируется в верхней части насыпи, а куски и комки глины скатываются вниз. То же происходит при наличии в песках включений крупнообломочного материала.

Прочностные характеристики насыпных грунтов необходимо определять с учетом условий формирования насыпных откосов, срок службы которых обычно невелик. Поэтому при расчетах устойчивости насыпи, основание или тело которых сложено глинистыми водонасыщенными грунтами, следует учитывать незавершенность уплотнения грунтовых масс, оцениваемую по результатам сдвиговых испытаний глинистых грунтов, выполненных для различных стадий уплотнения.

Влияние фактора времени на состояние грунтов насыпи сказывается в приобретении этими грунтами уплотнения и сцепления упрочнения. Величина «вторичного» сцепления существенно зависит от состава пород, времени существования насыпи и упрочняющей нагрузки. Время, необходимое для приобретения насыпными грунтами прочности и плотности, свойственных для них в естественном состоянии, приведено в табл. 28.

Таблица 28

**Время приобретения грунтами естественной плотности
(по данным исследований на газопроводах)**

Тип грунта	Сроки уплотнения, годы
Пески средние и мелкие	2—4,5
Супеси	4—6
Суглинки и глины	8—12
Супесчано-песчаные грунты с примесью слаборазложившегося торфа	2—4

Намывные грунты. Данные грунты создаются средствами гидромеханизации с помощью системы трубопроводов. Выполняют организованные и неорганизованные намывы. При организованных намывах, которые производятся в инженерно-строительных целях, возникают грунты с заранее заданными свойствами. Так намываются высокоплотные толщи песка, предназначенные служить основанием зданий и сооружений, также средненапорных плотин и дамб, а иногда дорожных насыпей. При неорганизованном намыве решаются задачи перемещения грунта для освобождения рабочих площадей. Примером могут служить вскрышные работы на месторождениях полезных ископаемых и строительных материалов.

Возведение грунтовых сооружений и территорий способами гидромеханизации всегда включает:

- гидравлическую разработку грунта (обычно землесосными снарядами, реже гидромониторами);
- гидротранспорт грунта (по магистральным и распределительным трубопроводам);
- намыв грунтов в земляные сооружения или намывные территории.

Современный уровень развития и технические средства гидромеханизации земляных работ позволяют возводить намывные сооружения практически из любых видов дисперсных грунтов от крупнообломочных до глинистых.

Природа инженерно-геологических свойств намывных грунтов определяется, главным образом, их составом и физико-химическим взаимодействием минеральных частиц с водой. Состав грунтов в гидроотвале зависит от состава и условий залегания породы в естественных условиях, технологических факторов и химического состава поровых вод. К числу основных технологических факторов относятся: способ гидровскрышных работ; способ выпуска гидросмеси на карту намыва; интенсивность намывных работ. Свойства намывных грунтов зависят от физико-географических факторов — рельефа ложа и климата, инженерно-геологических свойств грунтов основания намывного сооружения — состава, состояния и свойств подстилающих намывные сооружения грунтов.

Состав минеральных и органических компонентов намывных грунтов определяет характер развивающихся в них структурных связей и время приобретения намывными грунтами заданных физико-механических свойств. Следует отметить, что при намыве гидросмесь (вода—грунт) разделяется на фракции. Грубые частицы концентрируются около выпуска гидросмеси, т.е. там, где формируется приоткосная (пляжевая) зона, преимущественно тонкопесчаные пылеватые частицы слагают промежуточную зону и самые тонкие (глинистые и пылеватые) частицы формируют прудковую зону гидронамывного сооружения.

Специалисты выделяют три стадии формирования свойств намывных грунтов: уплотнение, упрочнение и стабилизированное состояние намывных грунтов.

После образования намывных грунтов — осадкообразования, связанного с выпадением минеральных частиц из потока гидросмеси, поступающей на карту намыва, грунт находится в состоянии, близком к полному водонасыщению, и имеет очень рыхлое сложение (степень водонасыщения S_r намывных песков в этом случае не опускается ниже значения 0,8) — начинается стадия уплотнения.

Эта стадия характеризуется интенсивным развитием процессов уплотнения намывных грунтов. Повышение плотности достигается за счет гравитационного уплотнения; фильтрационного обжатия грунта в процессе интенсивной водоотдачи; капиллярно-менискового обжатия грунта под влиянием капиллярного давления. В этот период происходит основная часть самоуплотнения намывных грунтов. Для большинства намывных песков длительность стадии уплотнения не превышает 1 года.

Стадия упрочнения характеризуется продолжением приобретения прочностных свойств намывных грунтов за счет формирования, главным образом, инфильтрационного обжатия песка, а также от действия статического давления верхних ярусов намыва и кольматации. Между частицами начинают возникать различные виды цементационных связей. В результате намывные грунты приобретают повышенную прочность и динамическую устойчивость. Длительность этой стадии составляет от 1,5 до 3 лет (изменение свойств намывных грунтов во времени приведены в табл. 29).

Таблица 29

Изменение во времени модуля общей деформации E (МПа) и удельного сцепления намывных песков C (кПа)

Место намыва	Вид песка	Отношение E/C через период времени после намыва (годы)					
		0,5	1	2	3	4	5
Брест	Средний и мелкий	8/1,5	12/4,2	12/4,4	15/4,8	16/5,1	—
	Средний при:						
	$e = 0,5$	14/2	22/3	30/4,4	35/5,2	37/5,5	38/5,6
	$e = 0,55$	10/2,5	16/3,5	21/4,7	25/5,2	27/5,5	28/5,6
	$e = 0,6$	13/1,6	19/2,3	25/3,3	28/3,8	29/4	30/4
	$e = 0,65$	8/1,8	11/2,4	16/3	18/3,5	19/3,6	20/3,6
	$e = 0,7$	10/1	14/1,5	19/2	21/2,3	22/2,5	22/2,5
Гомель	Средний	29/48	31/6,2	36/8	39/9	40/9,6	41/9,8
	Мелкий	24/6,4	26/9,6	29/13	31/15	32/16	32/16,6
Тюмень	Мелкий	0/0,5	0/2	0/3,7	0/4,7	0/5,5	0/5,7
Нижний Новгород	Средний	9/0	12/0	24/0	36/0	48/0	57/0

На стадии стабилизационного состояния упрочнение намывных грунтов продолжает формироваться, главным образом, за счет образования водостойких цементационных связей (представленных, например, гелем кремневой кислоты). Процесс носит затухающий характер. В конце стадии намывные пески относятся

уже к категории значительно упрочненных и по прочностным данным приближаются к позднечетвертичным аллювиальным пескам. Длительность этой стадии для намывных грунтов может достигать 10 лет и более.

Антропогенные образования. Под ними понимают твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, в результате которой произошло коренное изменение состава, структуры и текстуры природного минерального или органического сырья. К ним относятся: *бытовые отходы*, концентрирующиеся на городских и поселковых свалках, и *промышленные отходы*, включающие строительные отходы, шлаки, шламы, золы, золошлаки и др.

Формирование антропогенных образований, с одной стороны, связано с геологическими и геоморфологическими условиями местности, а с другой — с историей города или поселка, с характерной промышленной, хозяйственной и культурной деятельностью человека. Антропогенные образования являются специфическими грунтами, изучение которых должно проходить при сочетании инженерно-геологических, историко-археологических, технологических и геоэкологических методов исследований. В пределах промышленных центров и городских свалок большинство антропогенных образований являются источниками экологического загрязнения природной среды и особенно верхней части литосферы и гидросферы.

Накопление (складирование) антропогенных образований происходит за счет отвала или намыва различного мусора в пределах городских территорий (образование «культурного слоя»), на специально отведенных площадях под городские свалки твердых бытовых отходов и строительного мусора, на полях фильтрации, в пределах хвостохранилищ крупных промышленных предприятий (металлургических комбинатов, ТЭС и ТЭЦ, горно-обогатительных комбинатов и др.). В связи с этим по способу накопления антропогенные образования подразделяют на насыпные, намывные и намороженные (в условиях сурового климата и на территориях распространения многолетнемерзлых пород).

Антропогенные образования имеют своеобразный состав, формирующийся в процессе их накопления. Для большинства городских свалок отмечается крайняя неоднородность состава как по вертикали, так и в горизонтальном направлении, большая изменчивость мощности этих отложений по простиранию (от нескольких сантиметров до 15—20 м). Для насыпных и намывных антропогенных образований в хвостохранилищах состав отложений может отличаться большой однородностью (шлаки, зола и др.).

Основные инженерно-геологические свойства антропогенных образований зависят от их минералогического и гранулометрического состава, глубины залегания (мощности), наличия или отсутствия органических веществ (органических остатков), водонасыщенности, минерализации подземных вод, длительности существования, рельефа и характера естественных подстилающих грунтов. На грунтах бытовых свалок возводить здания и сооружения чрезвычайно трудно. В последние годы разрабатываются технологии рекультивации полигонов твердых бытовых отходов, исключая неконтролируемые выбросы биогаза и токсичного фильтрата. Это позволит эффективно использовать отчужденные под свалки площади. Лучше обстоит дело с грунтами из промышленных отходов, особенно типа отвалов и намывных хвостохранилищ ГОК. Общим для всех этих грунтов является недоуплотненность, водонасыщенность, способность к большой сжимаемости.

Ориентировочно периоды времени, необходимые для естественного уплотнения различных видов антропогенных образований, представляются следующим образом: 1) отвалов шлаков, формовочной земли, отходов обогатительных фабрик, золы в зависимости от состава — 10—20 лет; 2) свалок отходов различных производств и бытовых отходов в зависимости от состава — 10—30 лет.

Грунты любых антропогенных образований, особенно крупномасштабных, вызывают разнообразные нагрузки на геологическую среду, во многих случаях существенно изменяют условия ее «жизни» и, взаимодействуя с другими геосферами, могут привести к нарушению равновесного состояния геологической среды, вызвать нежелательные для человека экологические изменения. Таким образом, при рассмотрении вопросов складирования и строительства сооружений из антропогенных образований на первый план должна выдвигаться комплексная задача прогнозирования инженерно-геологических и гидрогеологических условий территорий, отводимых для их складирования, изменения во времени свойств этих грунтов, активизации или возникновения неблагоприятных инженерно-геологических процессов, разработки оптимальных мероприятий по охране природной среды.

В силу разнообразия входящих в антропогенные образования материалов, содержащих в своем большинстве вредные вещества, а также индивидуальностей инженерно-геологических и гидрогеологических условий районов складирования — схемы защиты окружающей природной среды могут быть весьма разнообразными. Необходимые объемы защитных мероприятий, диктуемые наличием антропогенных образований, и их стоимость во многом

зависят от правильного выбора места их складирования. Оптимально они должны размещаться:

- на площадях с инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, требующими наименьших затрат на природоохранные мероприятия;
- ниже мест водозаборов питьевой воды; рыбоводных хозяйств и мест нереста рыбы;
- на землях, не пригодных для сельского хозяйства, промышленного и гражданского строительства.

Улучшенные грунты. Многие грунты в их природном залегании имеют физико-механические свойства, которые не отвечают необходимым требованиям строительства. Это могут быть как скальные (трещиноватые, выветрелые), так и нескальные (биогенные, просадочные и т. д.) грунты. Природные грунты, свойства которых ухудшились в процессе строительных работ (искусственно разрыхленные, увлажненные и т. д.), называют *ухудшенными* грунтами. Свойства грунтов, главным образом, прочностные и деформативные характеристики, могут быть искусственно изменены в лучшую сторону с помощью технической мелиорации грунтов. В этом случае их называют *улучшенными* грунтами.

Улучшение свойств грунтов производят в условиях природного залегания или после соответствующей переработки и последующей их укладки, например, в основание объекта. Каждый улучшенный грунт имеет наперед заданные свойства и становится вполне пригодным для решения тех или иных строительных задач. Для промышленно-гражданского строительства улучшенные грунты чаще всего используются в качестве оснований зданий и сооружений. Наиболее широкое применение улучшенные грунты получили при возведении объектов на вечной мерзлоте, просадочных лессовых грунтах.

Глава 11

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ГРУНТОВ

Многие грунты в своем природном состоянии по своим свойствам не отвечают тем или иным требованиям строительства. Они могут быть недостаточно прочными, неводостойкими, переувлажненными, рыхлыми, трещиноватыми, с большим содержанием органического материала и т. д. В связи с этим в ряде случаев появляется потребность в определенном преобразовании

грунтов и придании им тех или иных необходимых для строительства свойств.

При решении инженерно-строительных задач очень часто приходится преобразовывать как скальные и полускальные, так и дисперсные и мерзлые природные грунты для улучшения их свойств в соответствии с требованиями видов строительства. Это, как правило, приводит к созданию улучшенных по свойствам грунтов. В связи с этим, согласно ГОСТ 25100—95, *природными образованиями, измененными в условиях естественного залегания*, являются природные грунты, для которых средние значения показателей химического состава изменены не менее чем на 15 %. При этом к ним относятся не только грунты, подвергшиеся целенаправленным изменениям, но и природные грунты, в которых под влиянием деятельности человека произошли различные изменения в составе, строении, состоянии и свойствах.

Решением вопросов улучшения свойств грунтов занимается специальное направление инженерной геологии — *техническая мелиорация* грунтов. Наиболее широкое применение техническая мелиорация грунтов нашла при строительстве зданий и сооружений в целях искусственного изменения свойств грунтов в сторону улучшения их основных свойств: прочности, водоустойчивости, снижения водопроницаемости, что особенно важно, когда эти грунты используются в качестве оснований.

Существуют два основных пути получения улучшенных грунтов — *уплотнение* (изменение физическим воздействием) и *закрепление* (изменение физико-химическими методами). Под грунтами, измененными физическим воздействием, понимают природные грунты, в которых техногенное воздействие (уплотнение, замораживание, тепловое воздействие, оттаивание и т. д.) изменяет строение и фазовый состав. Под грунтами, измененными физико-химическими методами, понимают природные грунты, в которых техногенное воздействие изменяет их вещественный состав, структуру и текстуру. При уплотнении, как правило, дисперсных грунтов происходит уменьшение их пористости, увеличивается количество контактов между частицами. Это приводит к увеличению общей прочности грунтового основания и уменьшению его сжимаемости. Грунты уплотняются как с поверхности (катками, тяжелыми трамбовками, вибрацией, замачиванием), так и в глубине толщ (грунтовые сваи, взрывы, замачивание и т. д.).

При закреплении увеличивается прочность грунтов. Это достигается повышением прочности контактов между отдельными частицами грунта или грунтовыми агрегатами путем склеивания частиц различными химическими веществами (силикатизация, цементация и другие методы), спекания частиц друг с другом (при

обжиге грунтов, применении сверхвысоких частот), путем создания ледовых контактов (замораживание грунтов), путем армирования грунтового массива (применение различных типов анкеров, геотекстильных и нетканых синтетических материалов) и т. д.

Для упрочнения скальных и полускальных трещиноватых грунтов используют в основном закрепляющие методы — цементацию, битумизацию, глинизацию и др. Улучшение свойств дисперсных грунтов производится всеми методами как закрепления, так и уплотнения. Для крупнообломочных грунтов используют силикатизацию, цементацию, битумизацию, замораживание (при небольших значениях коэффициентов фильтрации); для песчаных грунтов — силикатизацию, термическую обработку, смолизацию, кольматацию, замораживание, виброуплотнение, трамбование, укатку, замачивание и др.; для связных грунтов — силикатизацию, электроосмос, термическую обработку, трамбование, укатку, взрывы, замачивание (для лессов), замораживание и др.; для связных органоминеральных и органических грунтов (илы, торф, заторфованные фунты и др.) — электроосмос, электрохимическое закрепление, замораживание, гравитационное уплотнение и др.

Следует указать, что все многолетнемерзлые грунты (класс мерзлых грунтов) при оттаивании резко ухудшают свои прочностные и деформационные показатели.

Наибольшее количество методов улучшения свойств связано с дисперсными грунтами. Методы имеют различную сферу использования: одни методы применимы только в предпостроечный период; а другие как в предпостроечный период, так и во время строительства и эксплуатации объекта (метод силикатизации). Ряд способов улучшает свойства грунтов только на поверхности земли и до небольшой глубины (поверхностные методы), например трамбование, уплотнение грунтов укаткой. Другие методы дают возможность уплотнять грунты в глубине грунтовых толщ (силикатизация, термический обжиг) — это глубинные методы. Существуют методы, которые способны улучшить свойства грунтов, как на поверхности, так и в глубине грунтовых массивов, например виброуплотнение.

Улучшение свойств грунтов в ряде случаев осуществляется после предварительного нарушения природных структурных связей (трамбование, укатка), а в других случаях это достигается при сохранении этих связей (силикатизация, химическая обработка).

В последние годы разработаны принципиально новые комплексные методы улучшения оснований сооружений, позволяющие исправлять крен зданий с отклонением от вертикальной оси до 1,0 м.

В табл. 30 показаны основные методы технической мелиорации.

**Методы улучшения свойств грунтов
(методы технической мелиорации)**

Класс грунтов	Группа методов	Метод	Разновидность методов
Скальные	—	Скрепление трещин скобами	—
		Тампонажное закрепление Противофильтрационные Защитные (укладка слоев глин)	Цементация, силикатизация, глинизация, битумизация
Дисперсные, мерзлые, техногенные	Физико-механические	Механические	Трамбование, укатка, гравитационное уплотнение, виброуплотнение, грунтовые сваи, энергия взрыва, замачивание лессовых грунтов
		Физические	Электрохимическое уплотнение, электроосмотическое осушение, обжиг, замораживание
	Физико-химические	—	Солонцевание, кольматация, гидрофобизация
	Химические	С органическими вяжущими С неорганическими вяжущими	Битумизация, смолизация Силикатизация, цементация, известкование

Скальные грунты. Ослабление прочности скальных грунтов связано с трещиноватостью и пустотностью. Трещины скрепляются металлическими скобами, заделываются цементными и силикатными растворами, что придает скальным грунтам монолитность и прочность. Последнее называют *тампонажным закреплением*. В целях прекращения фильтрации воды трещины заливают горячим битумом или забивают глиной. Аналогичные способы используют для пустот, если они расположены вблизи поверхности земли и ограничены в объемах (*противофильтрационные методы*). Водорастворимые скальные грунты, например, хемогенные известняки, которые имеют достаточно высокие прочностные и деформационные показатели, защищают укладкой на их поверхность слоев глин или тяжелых суглинков (*защитные методы*).

Дисперсные грунты. Улучшить свойства рыхлых и связных грунтов можно различными методами. По своим особенностям их разделяют на три группы:

- физико-механические (механические и физические);

- физико-химические;
- химические.

Это деление имеет известную условность, поскольку многие методы по своему содержанию не вписываются в рамки одной какой-либо группы и часто очень тесно связаны друг с другом.

В литературе по строительству методы технической мелиорации разделяют на две другие группы: методы уплотнения и методы закрепления грунтов. Под *уплотнением* имеется в виду механическое упрочнение грунтов, а под *закреплением* все другие способы улучшения свойств (физические, физико-химические и химические).

Физико-механические методы. Механические методы дают возможность уплотнять дисперсные грунты внешними нагрузками (давлением, ударами, вибрацией). Различают следующие способы уплотнения грунтов: 1) трамбованием; 2) грунтонабивными сваями; 3) виброуплотнением; 4) энергией взрыва; 5) укаткой; 6) гравитацией; 7) замачиванием. Сущность всех этих способов однотипная — уплотнение грунтов происходит за счет уменьшения пористости. При этом природные структуры грунтов нарушаются и формируются новые структурные связи. Механическое уплотнение применяют как для рыхлых, так и для связных грунтов.

Трамбование. В промышленно-гражданском строительстве наибольшее применение получил метод механического уплотнения пылевато-глинистых грунтов трамбованием. Для трамбования используют железобетонные или металлические трамбовки до 7 т, которые сбрасываются на грунт с некоторой высоты. В последние годы появился опыт применения сверхтяжелых трамбовок (до 80—100 т). Глубина утрамбованных лессовых просадочных суглинков может достигать 3—3,5 м (при сверхтяжелых трамбовках значительно больше). Применяют также двухслойное уплотнение. Вначале на дне котлована вытрамбовывается первый слой. Далее на уплотненный слой отсыпается такой же грунт и тоже трамбуется. Так образуется второй уплотненный слой. Общая мощность утрамбованного грунта при этом может достигать 5 м. Метод трамбования еще используют для вытрамбования строительных котлованов (траншей). В этих случаях дно котлованов будет иметь слой из уплотненного грунта.

Грунтонабивные сваи относят к методам глубинного уплотнения грунтовых массивов и используют для всех видов пылевато-глинистых грунтов, но наибольший эффект они дают в лессовых просадочных грунтах. Вначале в грунте проходят буровые скважины. При этом вокруг скважин образуются зоны из уплотненных грунтов. Далее скважины заполняют грунтом с уплотне-

нием. Такие сваи придают прочность массивам грунтов, а в лесовых грунтах устраняют просадочные свойства.

Виброуплотнение применяют для повышения плотности песков. Различают поверхностное и глубинное виброуплотнения. Поверхностное виброуплотнение производят с помощью вибрирующей плиты (уплотняет до глубины 3 м) и используют для уплотнения оснований, дорожных одежд, песчаных подушек и насыпей. Глубинное виброуплотнение осуществляют глубинными вибраторами при одновременном водонасыщении грунтов. Этот способ применяют в основном для повышения несущей способности грунтов оснований.

Энергия взрывов (сейсмическое уплотнение) позволяет производить уплотнение грунтов в глубине массивов (водонасыщенных песков, лессовых грунтов II типа по просадочности и др.), а также создавать в глубине массивов грунтов подземные пустоты, которые можно использовать как емкости для хранения нефти и других жидких продуктов.

Укатку грунтов применяют главным образом в дорожном строительстве, а также при подготовке оснований под полы в промышленных цехах и при планировке территорий строительных площадок.

Метод гравитационного уплотнения в виде приложения статических нагрузок достаточно широко используют для уплотнения водонасыщенных грунтов (илов, торфяников и пр.). Различают наземное и подводное гравитационные уплотнения. Наземное уплотнение применяют для обжатия и повышения несущей способности органоминеральных и органогенных грунтов. В качестве пригрузки используют песок (гравий, галечник) в виде слоев мощностью 2—3 м. Под действием нагрузки происходит отжатие воды и уплотнение грунтов. Способ подводного уплотнения применяют при строительстве сооружений в прибрежных речных и морских водах, где на дне залегают илы. На илы укладывают толщи песка. Илы постепенно уплотняются и становятся достаточно надежным основанием.

Метод замачивания используют для механического уплотнения лессовых просадочных грунтов. В насыщенном водой лессовом грунте под действием собственного веса или собственного веса и нагрузки от объекта разрушается структура, грунт уплотняется и теряет свои просадочные свойства. Наиболее эффективно это проявляется в грунтах II типа по просадочности и на тех глубинах, где напряжения в грунте превышают величину начального просадочного давления. Этот метод применяют как до строительства, так и в период эксплуатации объектов.

Физические методы используют физические поля (электрические, температурные, магнитные). С помощью этих методов можно повышать плотность, прочность, водо- и морозостойкость грунтов, устранять просадочные свойства в лессовых образованиях. Наибольшее распространение получили методы, в основе которых лежат:

- использование постоянного электрического тока (*электрохимическое закрепление и осушение грунтов*);
- воздействие на грунты высоких положительных температур (*обжиг*) и отрицательных температур (*замораживание*).

Все физические методы способны воздействовать на массивы грунтов на всю их доступную глубину. Электрический постоянный ток применяется для: *электрохимического уплотнения; электроосмотического осушения* грунтов. Сущность методов заключается в пропускании через сильно влажные глинистые грунты постоянного электрического тока. Для этого в грунт забивают металлические трубы — электроды и пропускают ток. Катионы, находящиеся в водном поровом растворе, начинают передвигаться к катоду, а от катода к аноду. В свою очередь, начинают перемещаться и анионы. При этом возникают химические реакции, образуются новые вещества, которые упрочняют структуру грунта. Движение электрического тока одновременно заставляет передвигаться воду от анода к катоду, что приводит к осушению грунта.

Эффективность метода улучшения свойств грунтов электрическим током может быть увеличена за счет предварительного введения в грунт растворов солей или химических веществ, которые могут способствовать образованию новых и более прочных структурных связей.

Обжиг. В основе метода лежат высокие температуры, которые обжигают грунты и тем самым придают им прочность. Метод часто называют «термическим закреплением» грунтов. Обжиг нашел широкое применение в целях устранения просадочных свойств маловлажных лессовых грунтов. Для этого в просадочном грунте бурят скважины, в которые подают горячие газы, обжигающие грунт. В других случаях обжиг осуществляется за счет сжигания горючего вещества в самих скважинах. При обжиге создается температура 900—1000 °С. В результате такого воздействия вокруг каждой скважины в радиусе 1—1,5 м грунт превращается в камнеподобное тело, похожее на кирпич, становится прочным, водостойчивым и теряет просадочные свойства. Метод обжига позволяет устранять просадочные свойства в пределах всей толщи просадочных грунтов.

Замораживание. Отрицательные температуры используются для временного закрепления обводненных грунтов, главным образом,

в целях прекращения движения грунтовой воды и проникновения ее в будущий строительный котлован. Для этого вокруг будущего котлована бурят скважины. От специальной установки в скважину подается холодный раствор. Обычно для этого используется раствор хлористого кальция с температурой до -17°C . Холод раствора замораживает воду. В итоге вокруг котлована образуется льдо-грунтовая стенка, препятствующая проникновению воды в строительный котлован, что позволяет производить в нем строительные работы. По окончании работ подача холода прекращается и лед растаивает. Замораживать можно все водонасыщенные грунты, но чаще всего его применяют для песков.

Физико-химические методы. Эти методы предназначены для обработки на поверхности земли дисперсных грунтов. Они дают возможность сохранять и даже несколько упрочнять их структуру, защищать ее от воздействия воды. Улучшение свойств осуществляется путем обработки грунтов небольшим количеством (не более 1—3 % от веса грунта) определенных реагентов, которые воздействуют на поверхность минеральных частиц и в целом на всю структуру.

К физико-химическим методам относятся:

- солонцевание грунтов (обработка солями);
- глинизация (или иначе «кольматация») массивов грунтов глинистыми растворами;
- гидрофобизация, т. е. покрытие грунтовых структур поверхностно-активными веществами, которые позволяют грунту отталкивать воду.

Все эти методы чаще всего используют в дорожном строительстве. Для укрепления лессовых грунтов и песков в промышленно-гражданском строительстве наиболее эффективным способом является кольматация. Используя большую пористость, в эти грунты под давлением нагнетается суспензия из гидрофильной (монтмориллонитовой) глины. Глинистые частицы заполняют поры, усиливают структурные связи и делают грунты более прочными, менее водопроницаемыми.

Химические методы. Улучшать свойства грунтов можно, воздействуя на них органическими и неорганическими вяжущими веществами, которые вводят в грунты в количестве 1—5 %. Упрочнение грунтов происходит в результате изменения их состава и характера структурных связей. Грунты после такой обработки значительно увеличивают свою прочность, водо- и морозостойкость, уменьшается их водопроницаемость. Наиболее широко из химических методов применяют битумизацию и смолизацию (органические вяжущие), силикатизацию, цементацию и известкование (минеральные вяжущие). Обработка грунтов ор-

ганическими веществами и известкование относятся в основном к поверхностным методам, а неорганическими вяжущими — к глубинным методам.

Битумизация основана на введении в грунты битумов в виде расплавов, эмульсий или паст.

Смолизация — это упрочнение глинистых грунтов синтетическими полимерами (смолами).

Силикатизация основана на внедрении в грунты технического силиката натрия (жидкого стекла), который при взаимодействии с коагулятором выделяет гель кремниевой кислоты. Этот гель выполняет роль искусственного цемента грунтов. Жидким стеклом можно закреплять трещиноватые скальные грунты, но наиболее часто и эффективно этот метод используют для закрепления песков и лессовых просадочных грунтов (рис. 62).

Упрочнение этих грунтов достигается нагнетанием через скважины-инъекторы жидкого стекла. Грунты становятся камнеподобными, прочными, водонепроницаемыми, а лессовые образования утрачивают просадочные свойства на длительное время. Силикатизация также является эффективным средством в упрочнении лессовых грунтов, которые, уже будучи основаниями зданий, начали проявлять свои просадочные свойства и привели к деформациям здания. Силикатизации можно подвергать всю просадочную толщу лессового массива.

Метод силикатизации дает наиболее хорошие результаты в лессовых грунтах типа супесей и суглинков.

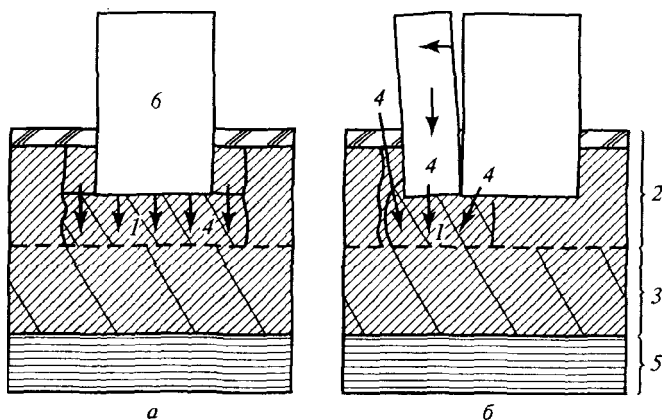


Рис. 62. Силикатизация лессовых грунтов:

а — до строительства; *б* — при деформации зданий в результате просадки в период эксплуатации; 1 — участок силикатизации; 2 — лессовые просадочные грунты; 3 — то же, непросадочные; 4 — направление инъекции; 5 — подстилающая толща; 6 — здания

Цементация как один из способов улучшения свойств грунтов применяется во многих видах строительства. В технической мелиорации наиболее часто используют портландцемент. Цементом скрепляют трещины скальных грунтов. В нескальные грунты цемент вводится через скважины-инъекторы под давлением. Раствор может состоять из одного цемента либо цемента и специальных добавок. Цементный раствор заполняет трещины и поры, твердеет, существенно повышает прочность грунтов и делает их менее водопроницаемыми.

Цементация осуществляется по всей глубине толщ грунтов и особенно хороший эффект дает в песках, гравии, галечниках, суглинках, супесях.

В настоящее время широко применяют предложенные Анри Видалем армированные грунты (армогрунты), где в качестве упрочняющего элемента используется сталь, но в последнее время сетки и каркасы из пластмасс — геосинтетических материалов, например из полиэтилена высокого давления.

В заключение необходимо отметить, что в будущем следует ожидать дальнейшего развития методов улучшения свойств грунтов.

Из года в год объем строительных работ возрастает. Строителям предстоит осваивать районы с неблагоприятными для строительства грунтами. Будет возрастать капитальность сооружений, что повысит требования к прочностным и деформационным характеристикам грунтов. Для решения всех этих задач необходимо более глубокое понимание природы грунтов, дальнейшее развитие технической мелиорации.

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

Глава 12

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

Современные представления геоэкологической науки определяют гидросферу как одну из главных жизнеобеспечивающих геосфер; гидросфера — неотъемлемая часть окружающей природной среды, неразрывно связанная с литосферой, атмосферой и биосферой и опосредованно — с деятельностью человека, его жизнью.

Воды, находящиеся в верхней части земной коры, носят название подземных. Науку о подземных водах, их происхождении, условиях залегания, законах движения, физических и химических свойствах, связях с атмосферными и поверхностными водами называют *гидрогеологией*.

Для строителей подземные воды в одних случаях служат источником водоснабжения, а в других выступают как фактор, затрудняющий строительство. Особенно сложным является производство земляных и горных работ в условиях притока подземных вод, затапливающих котлованы, карьеры, траншеи, подземные горные выработки: шахты, штольни, туннели, галереи и т.п. Подземные воды ухудшают механические свойства рыхлых и глинистых пород, могут выступать в роли агрессивной среды по отношению к строительным материалам, вызывают растворение многих горных пород (гипс, известняк и др.) с образованием пустот и т.д.

Строители должны изучать подземные воды и использовать их в производственных целях, уметь сопротивляться их негативному воздействию при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Вода в условиях земной поверхности находится в постоянном движении. Испаряясь с поверхности морей, океанов и суши, она в парообразном состоянии поступает в атмосферу. При соответствующих условиях пары конденсируются и в виде атмосферных осад-

ков (дождь, снег) возвращаются на поверхность Земли — в морские бассейны и на сушу. Происходит круговорот воды в природе.

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

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

Интенсивность водообмена подземных вод различна и зависит от глубины их залегания. В верхней части земной коры выделяют следующие вертикальные зоны:

- интенсивного водообмена (воды преимущественно пресные); расположена в самой верхней части земной коры до глубины 300—400 м, реже более; подземные воды этой зоны дренируются реками; в масштабе геологического времени — это воды молодые; водообмен осуществляется за десятки и тысячи лет;

- замедленного водообмена (воды солоноватые и соленые); занимает промежуточное положение и располагается до глубины 600—2000 м; обновление вод в процессе круговорота происходит в течение сотен тысяч лет;

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

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

Количественное выражение круговорота воды. Круговорот воды в природе количественно описывается уравнением водного баланса

$$Q_{a.o} = Q_{\text{подз}} + Q_{\text{пов}} + Q_{\text{и}},$$

где $Q_{a.o}$ — количество атмосферных осадков; $Q_{\text{подз}}$ — подземный сток; $Q_{\text{пов}}$ — поверхностный сток; $Q_{\text{и}}$ — испарение.

Основные расходные ($Q_{\text{подз}}$, $Q_{\text{пов}}$ и $Q_{\text{и}}$) и приходные ($Q_{a.o}$) статьи водного баланса зависят от природных условий, главным образом, от климата, рельефа и геологического строения района.

Изучение водного баланса отдельных районов или земного шара в целом необходимо для целенаправленного преобразования круговорота воды, в частности для увеличения запасов пресных подземных вод, используемых для водоснабжения.

Происхождение подземных вод. Подземные воды в верхней части земной коры образуются путем *инфильтрации*. Атмосферные осадки, речные и другие воды под действием гравитации просачиваются по крупным порам и трещинам пород. На глубине они встречают водонепроницаемые слои горных пород. Вода задерживается и заполняет пустоты пород. Так создаются горизонты подземных вод. Количество воды, инфильтрующейся с поверхности, определяется действием многих факторов: характером рельефа, составом и фильтрующей способностью пород, климатом, растительным покровом, деятельностью человека и т. д.

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

$$Q_{\text{и.п}} = Q_{\text{инф}} - Q_{\text{и}}.$$

В ряде случаев инфильтрационная теория не в состоянии объяснить появление подземных вод. Например, в сухих пустынях, где количество осадков незначительно, вблизи поверхности возникают водоносные горизонты. Было доказано, что в образовании подземных вод принимает участие также *конденсация* водяных паров, которые проникают в поры пород из атмосферы. Этот путь образования подземных вод хорошо прослеживается в рыхлых породах, которые служат основанием сооружений. Вследствие того что эти породы имеют температуру ниже окружающих пород, в них и происходит конденсация паров под фундаментом зданий.

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

В зонах замедленного и весьма замедленного водообмена образуются минерализованные (солёные) воды так называемого *седиментационного происхождения*. Эти воды возникли после образования (седиментации) древних морских осадков в начале геологической истории земной коры.

Глава 13

ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Горные породы по отношению к воде характеризуются следующими показателями: влагоемкостью, водоотдачей и водопроницаемостью. Показатели этих свойств используются при различных гидрогеологических расчетах.

Влагоемкость — способность породы вмещать и удерживать в себе воду. В том случае, когда все поры заполнены водой, порода будет находиться в состоянии полного насыщения. Влажность, отвечающая этому состоянию, называют полной влагоемкостью $W_{п.в}$:

$$W_{п.в} = n/\rho_{ск},$$

где n — пористость; $\rho_{ск}$ — плотность скелета породы.

Наибольшее значение $W_{п.в}$ совпадает с величиной пористости породы. По степени влагоемкости породы подразделяют на *весьма влагоемкие* (торф, суглинки, глины), *слабовлагоемкие* (мергель, мел, рыхлые песчаники, мелкие пески, лёсс) и *невлагоемкие*, не удерживающие в себе воду (галечник, гравий, песок).

Водоотдача W_v — способность пород, насыщенных водой, отдавать гравитационную воду в виде свободного стока. При этом считают, что физически связанная вода из пор породы не вытекает, поэтому принимают $W_v = W_{п.в} - W_{м.в}$.

Величина водоотдачи может быть выражена процентным отношением объема свободно вытекающей из породы воды к объему породы или количеством воды, вытекающей из 1 м³ породы (удельная водоотдача). Наибольшей водоотдачей обладают крупнообломочные породы, а также пески и супеси, в которых величина W_v колеблется от 25 до 43 %. Эти породы под влиянием гравитации способны отдавать почти всю имеющуюся в их порах воду. В глинах водоотдача близка к нулю.

Водопроницаемость — способность пород пропускать гравитационную воду через поры (рыхлые породы) и трещины (плотные породы). Чем больше размер пор или чем крупнее трещины, тем

выше водопроницаемость пород. Не всякая порода, которой присуща пористость, способна пропускать воду, например, глина с пористостью 50—60 % воду практически не пропускает.

Водопроницаемость пород (или их фильтрационные свойства) характеризуется *коэффициентом фильтрации* k_f (см/с, м/ч или м/сут), представляющим собой скорость движения подземной воды при гидравлическом градиенте, равном 1.

По величине k_f породы разделяют на три группы: 1) водопроницаемые — $k_f > 1$ м/сут (галечники, гравий, песок, трещиноватые породы); 2) полупроницаемые — $k_f = 1 \dots 0,001$ м/сут (глинистые пески, лесс, торф, рыхлые разности песчаников, реже пористые известняки, мергели); 3) непроницаемые — $k_f < 0,001$ м/сут (массивные породы, глины). Непроницаемые породы принято называть *водоупорами*, а полупроницаемые и водопроницаемые — единым термином водопроницаемые, или *водоносными, горизонтами*.

В фильтрации может принимать участие вода в связанном состоянии. Так, в глинах ее приводят в состояние движения увеличением разности напоров (градиента фильтрации), действием электро- и осмоотических сил.

Глава 14

СВОЙСТВА И СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

При оценке **свойств подземных вод** исследуют вкус, запах, цвет, прозрачность, температуру и другие физические свойства подземной воды, которые характеризуют так называемые *органолептические свойства* воды (определяемые при помощи органов чувств). Органолептические свойства могут резко ухудшаться при попадании в воду естественным или искусственным путем различных примесей (минеральных взвешенных частиц, органических веществ, некоторых химических элементов).

Температура подземных вод колеблется в широких пределах в зависимости от глубины залегания водоносных слоев, особенностей геологического строения, климатических условий и т. д. Различают воды холодные (температура от 0 до 20 °С), теплые, или субтермальные, воды (20—37 °С), термальные (37—100 °С), перегретые (свыше 100 °С). Очень холодные подземные воды циркулируют в зоне многолетней мерзлоты, в высокогорных районах; перегретые воды характерны для районов молодой вулканической деятельности. На участках водозаборов чаще всего температура воды 7—11 °С.

Химически чистая вода *бесцветна*. Окраску воде придают механические примеси (желтоватая, изумрудная и т. д.). Прозрачность воды зависит от цвета и наличия муты. Вкус связан с составом растворенных веществ: соленый — от хлористого натрия, горький — от сульфата магния и т. д. Запах зависит от наличия газов биохимического происхождения (сероводород и др.) или гниющих органических веществ.

Плотность воды — масса воды, находящаяся в единице ее объема. Максимальная она при температуре 4 °С. При повышении температуры до 250 °С плотность воды уменьшается до 0,799 г/см³, а при увеличении количества растворенных в ней солей повышается до 1,4 г/см³. Сжимаемость подземных вод характеризуется *коэффициентом сжимаемости*, показывающим, на какую долю первоначального объема жидкости уменьшается объем при увеличении давления на 10⁵ Па. Коэффициент сжимаемости подземных вод составляет $2,5 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-5}$ Па, т. е. вода в некоторой степени обладает упругими свойствами, что важно при изучении напорных подземных вод.

Вязкость воды характеризует внутреннее сопротивление частиц ее движению. С повышением температуры вязкость подземных вод уменьшается.

Электропроводность подземных вод зависит от количества растворенных в них солей и выражается величинами удельных сопротивлений от 0,02 до 1,00 Ом·м.

Радиоактивность подземных вод вызвана присутствием в ней радиоактивных элементов (урана, стронция, цезия, радия, газообразной эманации радия-радона и др.). Даже ничтожно малые концентрации — сотые и тысячные доли (мг/л) некоторых радиоактивных элементов — могут быть вредными для здоровья человека.

Химический состав подземных вод. Все подземные воды всегда содержат в растворенном состоянии большее или меньшее количество солей, газов, а также органических соединений.

Растворенные в воде газы (O₂, CO₂, CH₄, H₂S и др.) придают ей определенный вкус и свойства. Количество и тип газов обуславливает степень пригодности воды для питьевых и технических целей. Подземные воды у поверхности земли нередко бывают загрязнены органическими примесями (различные болезнетворные бактерии, органические соединения, поступающие из канализационных систем, и т. д.). Такая вода имеет неприятный вкус и опасна для здоровья людей.

Соли. В подземных водах наибольшее распространение имеют хлориды, сульфаты и карбонаты. По общему содержанию растворенных солей подземные воды разделяют на пресные (до 1 г/л растворенных солей), солоноватые (от 1 до 10 г/л), соленые

(10—50 г/л) и рассолы (более 50 г/л). Количество и состав солей устанавливается химическим анализом. Полученные результаты выражают в виде состава катионов и анионов (в мг/л или мг-экв/л).

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

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

В подземных водах присутствует несколько десятков химических элементов периодической системы Менделеева. До 90 % всех растворенных в водах солей ионы Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ . Железо, нитриты, нитраты, водород, бром, йод, фтор, бор, радиоактивные и другие элементы содержатся в воде в меньших количествах. Однако даже в небольших количествах они могут оказывать существенное влияние на оценку пригодности подземных вод для различных целей. Наилучшими питьевыми качествами обладают воды при $\text{pH} = 6,5 \dots 8,5$.

Количество растворенных солей не должно превышать 1,0 г/л. Не допускается содержание вредных для здоровья человека химических элементов (уран, мышьяк и др.) и болезнетворных бактерий. Последнее в известной мере может быть нейтрализовано обработкой воды ультразвуком, хлорированием, озонированием и кипячением. Органические примеси устанавливаются бактериологическим анализом. Вода для питьевых целей должна быть бесцветна, прозрачна, не иметь запаха, быть приятной на вкус.

Жесткость и агрессивность подземных вод связаны с присутствием солей. *Жесткость воды* — это свойство, обусловленное содержанием ионов кальция и магния, т. е. связанная с карбонатами, и вычисляется расчетным путем по общему содержанию в воде гидрокарбонатных и карбонатных ионов. Жесткая вода дает большую накипь в паровых котлах, плохо мылится и т. д. В настоящее время жесткость принято выражать количеством миллиграмм-эквивалентов кальция и магния, 1 мг-экв жесткости соответствует содержанию в 1 л воды 20,04 мг иона кальция или 12,6 мг иона магния. В других странах жесткость измеряют в градусах (1 мг-экв = 28°). По жесткости воду разделяют на *мягкую* (менее 3 мг-экв или 8,4°),

средней жесткости (3—6 мг-экв или 8,4°), *жесткую* (6—9 мг-экв или 16,8—25,2°) и *очень жесткую* (более 9 мг-экв или 25,2°). Наилучшим качеством обладает вода с жесткостью не более 7 мг-экв. Жесткость бывает постоянной и временной. *Временная жесткость* связана с присутствием бикарбонатов и может быть устранена кипячением. *Постоянная жесткость*, обусловленная серно-кислыми и хлористыми солями, кипячением не устраняется. Сумму временной и постоянной жесткости называют *общей жесткостью*.

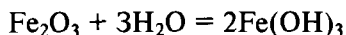
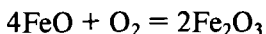
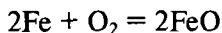
Агрессивность подземных вод выражается в разрушительном воздействии растворенных в воде солей на строительные материалы, в частности, на портландцемент. Поэтому при строительстве фундаментов и различных подземных сооружений необходимо уметь оценивать степень агрессивности подземных вод и определять меры борьбы с ней. В существующих нормах, оценивающих степень агрессивности вод по отношению к бетону, кроме химического состава воды, учитывается коэффициент фильтрации пород. Одна и та же вода может быть агрессивной и неагрессивной. Это обусловлено различием в скорости движения воды — чем она выше, тем больше объемов воды войдет в контакт с поверхностью бетона и, следовательно, значительнее будет агрессивность.

По отношению к бетону различают следующие виды агрессивности подземных вод:

- *общекислотная* — оценивается величиной pH, в песках вода считается агрессивной, если $\text{pH} < 7$, а в глинах — $\text{pH} < 5$;
- *сульфатная* — определяется по содержанию иона SO_4^{2-} ; при содержании SO_4^{2-} в количестве более 200 мг/л вода становится агрессивной;
- *магнезиальная* — устанавливается по содержанию иона Mg^{2+} ;
- *карбонатная* — связанная с воздействием на бетоны агрессивной уголекислоты, этот вид агрессивности возможен только в песчаных породах.

Агрессивность подземных вод устанавливают сопоставлением данных химических анализов воды с требованиями нормативов. После этого определяют меры борьбы с ней. Для этого используют специальные цементы, производят гидроизоляцию подземных частей зданий и сооружений, понижают уровень грунтовых вод устройством дренажей и т. д.

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



Подземные воды обладают коррозионными свойствами при содержании в них также агрессивной уголекислоты, минеральных и органических кислот, солей тяжелых металлов, сероводорода, хлористых и некоторых других солей. Мягкая вода (с общей жесткостью менее 3,0 мг-экв) действует значительно агрессивнее, чем жесткая. Наибольшему разведению могут подвергаться металлические конструкции под влиянием сильноокислых ($\text{pH} < 4,5$) и сильнощелочных вод ($\text{pH} > 9,0$). Коррозии способствует повышение температуры подземной воды, увеличение скорости ее движениями, электрические поля в грунтовых толщах.

Оценка коррозионной активности вод по отношению к некоторым металлам производится по действующему ГОСТу. После этого, согласно СНиПа, выбирают мероприятия по предотвращению возможной коррозии.

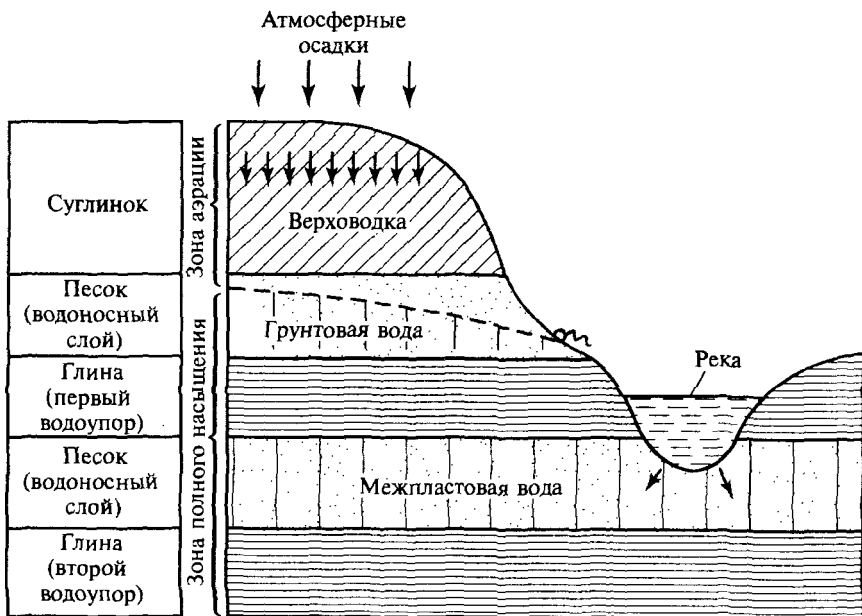
Классификация подземных вод. Существует целый ряд классификаций, но главных из них две. Подземные воды подразделяют по характеру их использования и по условиям залегания в земной коре (рис. 63). В число первых входят хозяйственно-питьевые воды, технические, промышленные, минеральные, термальные. Ко вторым относят: верховодки, грунтовые и межпластовые воды, а также воды трещин, карста, вечной мерзлоты. В инженерно-геологических целях подземные воды целесообразно классифицировать по гидравлическому признаку — безнапорные и напорные.

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

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

В последние годы для хозяйственно-питьевого водоснабжения начинают использовать также солоноватые и соленые подземные воды после их искусственного опреснения.

Технические воды — это воды, которые используют в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Требова-



Р и с. 63. Классификация подземных вод по условиям в земной коре

ния к подземным техническим водам отражают специфику того или иного вида производства.

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

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

Минеральными называют подземные воды, которые имеют повышенное содержание биологически активных микрокомпонентов, газов, радиоактивных элементов и т.д. Они выходят на поверхность земли источниками или вскрываются буровыми скважинами.

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

По трещинам термальные воды часто выходят на поверхность земли, образуя горячие источники с температурой до 100 °С (Камчатка, Кавказ). Запасы этих вод в земной коре очень большие и их активно используют для теплофикации городов и энергетических целей, например, на Камчатке (Паужетская геотермальная станция). На Земле действует несколько районов активной гейзерной деятельности: Камчатка, Исландия, Северо-Восток США, Новая Зеландия.

Глава 15

ХАРАКТЕРИСТИКА ТИПОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В этой главе дается описание подземных вод по условиям их залегания в земной коре: верховодок, грунтовых, межпластовых и некоторых других вод. При этом следует сказать, что верхняя часть земной коры в зависимости от степени насыщения водой пор горных пород делится на две зоны: верхнюю — зону аэрации и нижнюю — зону насыщения. На рис. 63 показано, как располагаются основные подземные воды в земле. Это фактически графическое изображение классификации подземных вод по условиям залегания.

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

Непосредственно над поверхностью подземных вод располагается зона повышенной влажности — капиллярная кайма.

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

Подземные воды в зоне насыщения циркулируют в виде верховодок, грунтовых, артезианских, трещинных и вод вечной мерзлоты.

Верховодки — это временные скопления подземных вод в зоне аэрации. Верховодки образуются над локальными водоупорами

(или полуводоупорами), которыми могут быть линзы глин и суглинков в песке, прослойки более плотных пород. При инфильтрации вода временно задерживается и образует сводообразные водоносные горизонты. Чаще всего это бывает связано с периодом обильного снеготаяния, периодом дождей. В остальное время вода верховодок испаряется или просачивается (стекает) в нижележащие грунтовые воды.

Другой особенностью верховодок является возможность их образования даже при отсутствии в зоне аэрации каких-либо водоупорных пропластков. Например, в толщу суглинков обильно поступает вода, но вследствие низкой водопроницаемости просачивание происходит замедленно и в верхней части толщи образуется верховодка. Через некоторое время эта вода рассасывается.

В целом для верховодок характерно: временный, чаще сезонный характер, небольшая площадь распространения, малая мощность и безнапорность. В легко водопроницаемых породах, например песках, верховодки возникают сравнительно редко. Более типичны их появления в различных суглинках и лессовых породах.

Верховодки представляют значительную опасность для строительства. Залегая в пределах подземных частей зданий и сооружений (подвалы, котельные и др.), они могут вызвать их подтопление, если заранее не было предусмотрено дренирование или гидроизоляция. В последнее время в результате значительных утечек воды из водонесущих коммуникаций (водопровод, бассейны и др.) отмечено появление горизонтов верховодок на территориях промышленных объектов и новых жилых районов, расположенных в зоне распространения лессовых пород. Это представляет серьезную опасность, так как грунты оснований снижают свою устойчивость, затрудняется эксплуатация зданий и сооружений.

При инженерно-геологических изысканиях, проводимых в сухое время года, верховодка не всегда обнаруживается. Поэтому ее появление для строителей может быть неожиданным, хотя по определенным признакам изыскатели способны прогнозировать ее появление.

Грунтовые воды. Грунтовыми называют постоянные во времени и значительные по площади распространения горизонты подземных вод, залегающие на первом от поверхности «выдержанном» водоупоре. Они характеризуются рядом признаков:

1. Грунтовые воды имеют свободную поверхность, т. е. сверху они не перекрыты водоупорными слоями. Свободная поверхность грунтовых вод называется *зеркалом* (в разрезе уровень). Положение зеркала в какой-то мере отвечает рельефу данной местности. Глубина залегания уровня от поверхности различ-

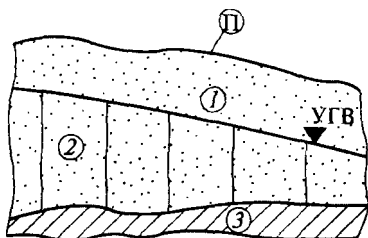
на — от 1 до 50 м и более. Положение уровня по ряду причин непостоянно. Водоупор, на котором лежит водоносный слой, называют *ложем*, а расстояние от водоупора до уровня подземных вод — *мощностью* водоносного слоя (рис. 64).

Грунтовые воды в силу наличия свободной поверхности безнапорны. Иногда они могут проявить так называемый местный напор, связанный с залеганием линзы глины в уровне зеркала (рис. 65).

2. Питание грунтовых вод происходит главным образом за счет атмосферных осадков, а также поступления воды из поверхностных водоемов и рек. Территория, на которой происходит питание, ориентировочно совпадает с площадью распространения грунтовых вод. Грунтовая вода открыта для проникновения в нее поверхностных вод, что приводит к изменению ее состава во времени и нередко к загрязнению различными вредными примесями.

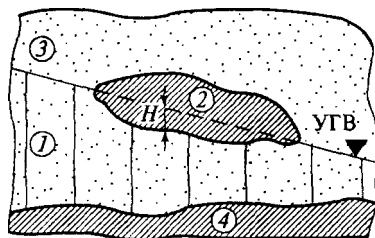
3. Грунтовые воды находятся в непрерывном движении и, как правило, образуют потоки, которые направлены в сторону общего уклона водоупора. В отдельных случаях их залегание имеет форму грунтовых бассейнов (рис. 66), т. е. вода находится в неподвижном состоянии. Грунтовые потоки нередко выходят на поверхность, образуя родники или создавая локальную по площади заболоченность.

4. Количество, качество и глубина залегания грунтовых вод зависят от геологических условий местности и климатических факторов. Зеркало грунтовых вод в целом в какой-то мере копирует рельеф земной поверхности в пределах их расположения. По степени минерализации воды преимущественно пресные, реже солоноватые и соленые, состав гидрокарбонатно-кальциевый, сульфатный и сульфатно-хлоридный.



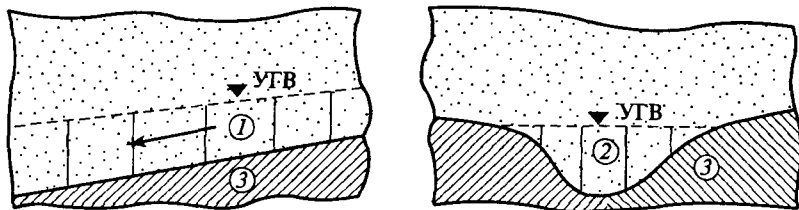
Р и с. 64. Грунтовая вода:

1 — уровень грунтовой воды (УГВ); 2 — мощность грунтовой воды; 3 — ложе (водоупор);
П — поверхность земли



Р и с. 65. Схема возникновения местного напора:

1 — водоносный горизонт грунтовых вод;
2 — линза глины в толще песка; 3 — зеркало грунтовой воды (уровень); 4 — водоупор;
Н — высота (величина) местного напора



Р и с. 66. Формы залегания грунтовых вод:

1 — грунтовый поток; 2 — грунтовый бассейн; 3 — водоупор

Грунтовые воды имеют практически повсеместное распространение. В площадном распределении грунтовых вод имеется определенная зональность. Выделяют следующие четыре зоны.

Грунтовые воды речных долин. Глубина залегания изменяется от 1 см до 10—15 м. Вода залегает в аллювиальных отложениях, слабо минерализована, широко используется для водоснабжения.

Грунтовые воды ледниковых отложений. На европейской территории России ледниковые отложения представлены разнообразными обломочными породами, среди которых много водоносных слоев. Вода обильная, слабо минерализованная, широко используется для водоснабжения.

Грунтовые воды полупустынь и пустынь. Это районы с малым количеством атмосферных осадков (до 200 мм в год) и значительным испарением. Воды обычно мало, залегает она глубоко и имеет высокую минерализацию.

Грунтовые воды горных областей. В этих районах выпадает много атмосферных осадков, часть которых проникает в выветрелые и трещиноватые породы. Наибольшее количество грунтовых вод хорошего качества скапливается в отложениях предгорных наклонных равнин. Эта вода широко используется для водоснабжения.

Среди зональных располагаются незональные грунтовые воды, например болотные, карстовые и др. Большими аккумуляторами атмосферных осадков, паводковых и других вод являются болота. Уровень грунтовых вод в болотах всегда совпадает с поверхностью земли, что собственно и обуславливает заболоченность местности.

В практике строительства чаще всего приходится встречаться именно с грунтовыми водами и иногда верховодкой. Они создают большие трудности при производстве строительных работ (заливают котлованы, траншеи, создают опасность оползания и оплывин в бортах котлованов и т. д.) и мешают нормально эксплуатировать здания и сооружения.

Карты поверхности грунтовых вод (карты гидроизогипс). Для выявления характера поверхности (зеркала) грунтовых вод со-

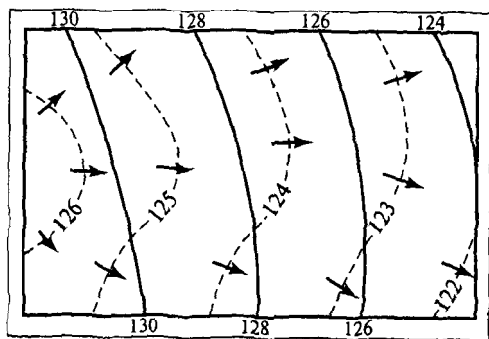
ставляют карты гидроизогипс (рис. 67). Гидроизогипсами называют линии, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными или относительными отметками уровней грунтовых вод. Эти линии аналогичны горизонталям рельефа местности и подобно им отражают рельеф зеркала вод. Карты гидроизогипс необходимы при решении задач, связанных с проектированием водозаборов подземных вод, борьбой с подтоплением территорий и др. Для построения карты гидроизогипс замеряют уровни грунтовых вод в скважинах, расположенных обычно по сетке. Замеры уровней воды должны быть единовременными. Абсолютные отметки уровня подземных вод h_b в скважинах определяют по формуле

$$h_b = h_{п.з} - h,$$

где $h_{п.з}$ — абсолютная отметка поверхности земли; h — глубина залегания подземных вод от поверхности земли, м. Полученные абсолютные отметки надписывают над каждой скважиной и затем методом интерполяции строят гидроизогипсы. Сечение гидроизогипс (частоту их заложения) выбирают в зависимости от масштаба карты и густоты расположения точек замера от 0,5 до 10,0 м, чаще 0,5; 1,0 и 2,0 м.

С помощью карты гидроизогипс (совмещенной с топографической картой) можно выяснить направление и узнать скорость движения грунтового потока в любой точке, а также определить глубину залегания грунтовых вод (по разности отметок горизонталей и гидроизогипс).

Карта гидроизогипс позволяет установить характер связи грунтовых вод с поверхностными водами (реки, каналы, водохранилища). Эти воды могут питать грунтовые воды или, наоборот, подземная вода пополняет эти водоемы. Это необходимо знать при определении водопритоков к водозаборам.



Р и с. 67. Карта изогипс

Межпластовые подземные воды. Эти воды располагаются в водоносных горизонтах между водоупорами. Они бывают ненапорными и напорными (артезианскими).

Межпластовые ненапорные воды встречаются сравнительно редко. Они связаны с горизонтально залегающими водоносными слоями, заполненными водой полностью или частично (рис. 68).

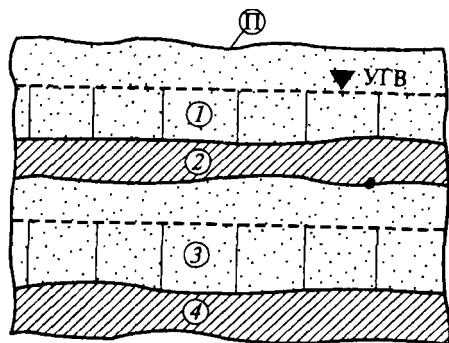
Напорные (артезианские) воды связаны с залеганием водоносных слоев в виде синклиналей или моноклиналей (рис. 69 и 70). Площадь распространения напорных водоносных горизонтов называют *артезианским бассейном*.

Отдельные части водоносных слоев залегают на различных высотных отметках, что и создает напор подземных вод. Напорных подземных горизонтов может быть несколько. Каждый из них имеет область питания там, где водоносные слои выходят на поверхность и имеют высокие отметки. Область питания, как правило, не совпадает с площадью распространения межпластовых вод.

Напорность вод характеризуется пьезометрическим уровнем. Высотное положение уровня связано с характером залегания водоносных слоев. Он может быть выше поверхности земли или ниже ее. В первом случае, выходя через буровые скважины, вода фонтанирует, во втором — поднимается лишь до пьезометрического уровня.

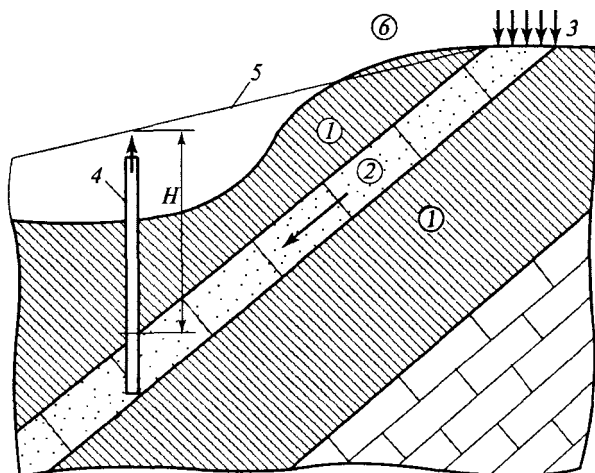
Многие артезианские бассейны (например, Доно-Донецкая впадина) занимают огромные площади, содержат ряд водоносных горизонтов, являются важным источником питьевой и технической воды, обладают большой водообильностью, вода обычно хорошего качества.

Напорные воды встречаются не только в слоях, залегающих между двумя водоупорами, но и в массивах скальных, трещиноватых пород (трещинные воды), а также в карстовых пустотах (карстовые воды) и в вечной мерзлоте.



Р и с. 68. Межпластовая
ненапорная вода:

- 1 — грунтовая вода; 2 — первый водоупор;
3 — межпластовая вода; 4 — водоупор;
П — поверхность земли



Р и с. 69. Артезианская вода при моноклиальном залегании слоев:

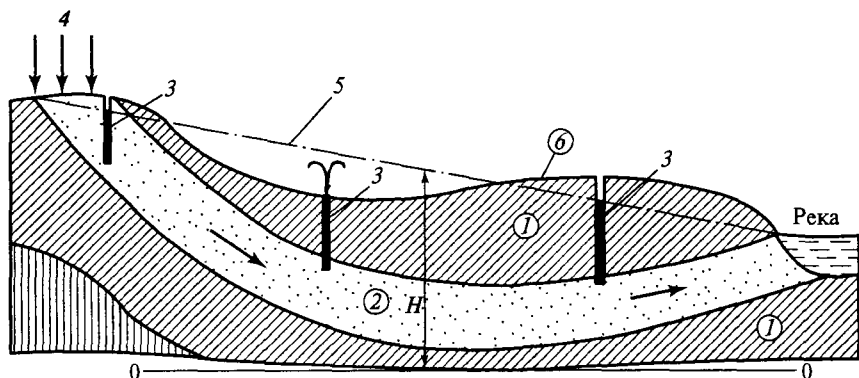
1 — водоупоры; 2 — водоносный слой; 3 — область питания водой; 4 — буровая скважина; 5 — пьезометрический уровень; 6 — поверхность земли; H — высота (величина) напора воды

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

Геологические структуры синклинального типа, содержащие один или несколько напорных водоносных горизонтов и занимающие значительные площади (до нескольких сотен тысяч квадратных километров), называют *артезианскими бассейнами*. При моноклиальном залегании слоев образуется *артезианский склон*.

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

Выделение по площади артезианского бассейна трех областей условно. В последнее время установлена возможность медленного перетекания воды из напорного водоносного пласта в ниже- и вышезалегающие водоносные горизонты через разделяющие их относительно водоупорные слои, поэтому области разгрузки напорных вод, так же как и питания (при перетекании воды из ниже- и вышезалегающих водоносных горизонтов), могут занимать различные участки по площади артезианского бассейна.



Р и с. 70. Артезианский бассейн (в условиях синклинального залегания слоев пород):

1 — водоупор; 2 — водонапорный слой; 3 — буровые скважины; 4 — область питания водой; 5 — пьезометрический уровень; 6 — поверхность земли; H — высота (величина) напора воды

Разгрузка напорных вод возможна и искусственным путем через водозаборные скважины при их длительной эксплуатации. Работа водозаборов усиливает также процессы перетекания воды из одного водоносного горизонта в другой.

При использовании артезианских вод для водоснабжения наиболее перспективным считается самый верхний напорный горизонт, где обычно залегают слабоминерализованные (пресные) воды. Химический состав и минерализация артезианских вод изменяются с глубиной.

Карты пьезометрической поверхности напорных вод (карты гидроизопьез). Линии, соединяющие точки с одинаковыми отметками пьезометрического уровня, называют *гидроизопьезами* (или *пьезогипсами*). Карта гидроизопьез — совокупность таких линий, и строится она методом интерполяции отметок, т.е. аналогично карте гидроизогипс. Если напорных водоносных горизонтов несколько, для каждого из них на карте наносится своя система гидроизопьез.

С помощью карты гидроизопьез решают ряд практических задач, связанных с использованием артезианских вод для водоснабжения, с организацией защиты от них при вскрытии строительными котлованами кровли напорного пласта и т.д. По карте гидроизопьез изучают условия формирования потоков артезианских вод, определяют направление их движения, выделяют участки возможного самоизлияния, устанавливают гидравлическую связь напорных вод с реками и др.

Подземные воды в трещиноватых и закарстованных породах. *Трещинные воды* — это подземные воды, циркулирующие в трещи-

новатых горных породах. Перемещаются они по системе взаимосвязанных трещин и образуют единую гидравлическую систему.

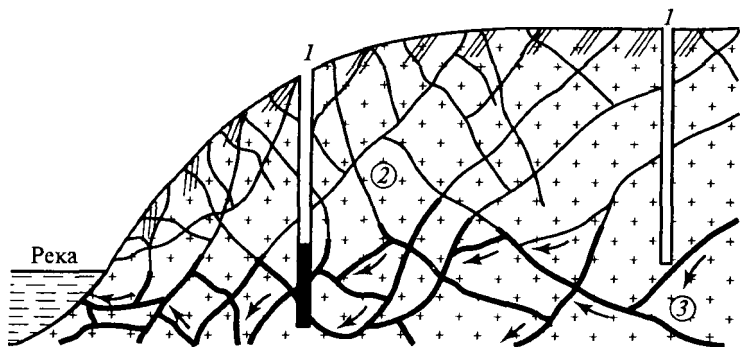
В зависимости от условий залегания трещинные воды могут быть грунтовыми, межпластовыми, жильными.

Трещинно-грунтовые воды развиты в верхней трещиноватой зоне кристаллических массивов (до глубины 80—100 м) (рис. 71). Питаются они в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков и отличаются значительными колебаниями уровня подземных вод во времени. Площади их питания совпадают с площадями распространения. Глубина залегания трещинно-грунтовых вод возрастает от долин к водоразделам (от нескольких метров до 80 м и более). Водоупором трещинно-грунтовых вод служат монолитные нетрещиноватые скальные породы. Водообильность трещинно-грунтовых вод определяется условиями их питания и степенью трещиноватости горных пород.

Трещинно-грунтовые воды обычно расположены в зоне активного водообмена, поэтому в большинстве случаев они пресные, гидрокарбонатно-кальциевого состава.

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

Трещинно-жильные воды развиты локально, исключительно в зонах тектонических нарушений с крупными трещинами. Это линейно вытянутые узкие водные потоки (жилы), уходящие в глубину на несколько сот метров, поэтому они часто имеют повышенную температуру. Для трещинно-жильных вод характерен напорный режим. Как правило, они отличаются значительной водообильностью, нередко разгружаются на поверхности земли и образуют мощные родники, которые используют для водоснабже-



Р и с. 71. Залегание трещинно-грунтовых вод:

1 — скважины; 2 — трещины в скальных породах; 3 — трещины, заполненные водой

ния. Трещинно-жильные воды получают питание за счет трещинно-грунтовых вод, разгрузки глубокозалегающих напорных водонесных горизонтов и других источников.

При строительстве подземных водопроводно-канализационных, гидротехнических, гражданских сооружений (трубопроводы, тоннели и др.), хранилищ отходов в горно-складчатых областях необходимо принимать меры, предотвращающие внезапный прорыв водообильных трещинно-жильных вод.

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

Степень и характер закарстованности горных пород определяют основные черты карстовых вод (глубину развития, интенсивность движения, гидравлическое состояние, водообильность и т. д.).

Карстовые воды отличаются от трещинных вод более интенсивным движением, особенно в верхней зоне массива закарстованных пород, непостоянством химического состава, резким изменением водообильности на сравнительно небольших расстояниях.

Подземные воды вечной мерзлоты. Подземные воды в районах многолетней мерзлоты (Сибирь, Крайний Север, Дальний Восток и др.) контактируют или непосредственно содержатся в толще многолетнемерзлых пород. Подземные воды представлены надмерзлотными, межмерзлотными и подмерзлотными водами.

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

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

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

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

Подмерзлотные воды циркулируют ниже многолетнемерзлотной толщи, поэтому встречаются только в жидкой фазе. Воды напорны, величина напора над кровлей нередко достигает нескольких сотен метров. По условиям циркуляции подмерзлотные воды аналогичны напорным водам в районах с умеренным климатом. Запасы подмерзлотных вод значительны. Водообильность высокая, особенно карстовых подмерзлотных вод. Минерализация вод разная (от пресных до рассолов). В районах с небольшой мощностью многолетнемерзлых пород (южные районы Восточной Сибири и Дальнего Востока) подмерзлотные воды широко эксплуатируются и имеют важнейшее значение для водоснабжения.

Глава 16

ДВИЖЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Подземные воды в большинстве случаев находятся в движении. Раздел гидрогеологии, изучающий закономерности движения подземных вод, называется *динамикой подземных вод*. Движение подземных вод подчиняется определенным законам с присущими им определенными формами передвижения. Все это учитывается при гидрогеологических расчетах, при решении вопросов водозабора или водопонижения уровней подземных вод.

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

Фильтрационные потоки подземных вод различаются по характеру движения и подчиняются двум законам. Если движение грунтового потока в водоносных слоях (галечнике, песке, супеси, суглинке) имеет параллельно-струйчатый или так называемый *ламинарный* характер, то он подчиняется закону Дарси. Ламинарный характер движения воды наблюдается также в трещиноватых породах, но при скорости движения не более 400 м/сут. При наличии крупных пустот и трещин движение воды в породах носит вихревой, или *турбулентный*, характер, но это наблюдается сравнительно редко. Это второй закон, носящий более сложный характер.

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

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

Фильтрационный поток называется *неустановившимся*, если основные его элементы изменяются не только от координат пространства, но и от времени. Подземный поток становится переменным, т. е. приобретает неустановившийся характер движения под действием различных естественных и искусственных факторов (неравномерная инфильтрация атмосферных осадков, откачка воды из скважины, сброс сточных вод на поля фильтрации и т. д.).

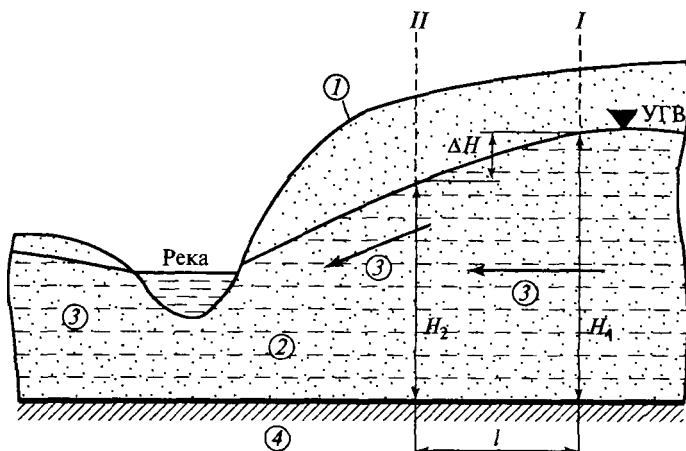
Ненапорные грунтовые воды имеют водоупор снизу и свободную поверхность сверху. Ненапорные подземные воды в зоне полного насыщения передвигаются при наличии разности гидравлических напоров (уровней) от мест с более высоким к местам с низким напором (уровнем). Это можно видеть на рис. 72. Разность напоров $\Delta H = H_1 - H_2$ в сечениях *I* и *II* обуславливает движение воды в направлении сечения *II*. Скорость движения грунтового потока зависит от разности напора (чем больше ΔH , тем больше скорость) и длины пути фильтрации.

Отношение разности напора ΔH к длине пути фильтрации *l* называют *гидравлическим уклоном* (или *гидравлическим градиентом* I) $I = \Delta H/l$.

Современная теория движения подземных вод основывается на применении закона Дарси

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

где *Q* — расход воды или количество фильтрующейся воды в единицу времени, м³/сут; *k_φ* — коэффициент фильтрации, м/сут;



Р и с. 72. Схема безнапорной фильтрации грунтовой воды:

1 — поверхность земли; 2 — песок (водовмещающая порода); 3 — поток грунтовой воды; 4 — водоупор; I — ось первой скважины; II — ось второй скважины; H_1 — высота (величина напора в первой скважине); H_2 — высота (величина напора во второй скважине); ΔH — падение напора грунтовой воды; l — расстояние между скважинами

F — площадь поперечного сечения потока воды, м^2 ; ΔH — разность напоров, м ; l — длина пути фильтрации, м .

Скорость фильтрации $v = Q/F$ или $v = k_{\phi} I$. Скорость движения воды (фильтрации) измеряется в м/сут или см/с . Эти формулы требуют уточнения в связи с тем, что в них входит величина F , отражающая все сечение фильтрующейся воды, а вода, как известно, течет лишь через часть сечения, равную площади пор и трещин породы. Поэтому величина v является кажущейся. Действительную скорость воды v_d определяют с учетом пористости породы

$$v_d = Q/Fn,$$

где n — пористость, выраженная в долях единицы.

Сопоставив формулы $v = k_{\phi} I$ и $v_d = Q/Fn$, можно установить, что $v_d = v/n$. Формула скорости воды $v_d = Q/Fn$ в этом виде в свою очередь правомерна лишь для песков и крупнообломочных пород, где все поры открыты и вода имеет полную свободу движения. В глинистых породах часть пор закрыта и вода передвигается только через открытые поры, поэтому в формулу вводят не n , а $n_{\text{акт}}$ (активную пористость), т. е. значение пористости, через которые фактически проходит вода. Также следует помнить, что движение воды в породах происходит обычно с разной скоростью, поэтому

при рассмотрении вопроса о движении воды в данной породе можно говорить лишь об ее средней скорости движения.

Источники. Под *источниками* (ключами, родниками) подразумеваются места естественных выходов воды на дневную поверхность. Наиболее часто это происходит при прорезании грунтовой воды эрозийной сетью. Это дает *нисходящие* источники.

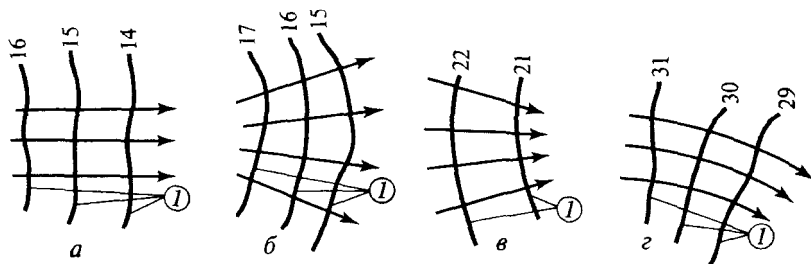
По своему характеру источники бывают *сосредоточенные*, т. е. выходящие в одном месте, в виде потока, и *рассредоточенные*, когда грунтовая вода просачивается на склоне оврага или речной долины через слой глинистого грунта. После расчистки этого слоя источник может стать сосредоточенным.

Интенсивность выхода воды в единицу времени оценивается *дебитом источника* (л/с или м³/сут). Источник, выход вод которого улучшен человеком, называется *каптированным*. Напорные воды могут давать *фонтанирующие (восходящие)* источники.

Форма движения потоков грунтовых вод. На строительных или хозяйственных площадках при решении практических задач по водоснабжению или устройству дренажей почти всегда необходимо знать направление движения потоков воды. Грунтовые воды совершают сложные движения в зависимости от местных геологических условий, рельефа местности и других факторов. Различают потоки *плоские*, *радиальные (сходящиеся и расходящиеся)* и *криволинейные* (рис. 73).

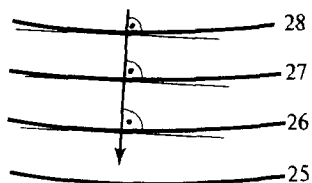
При определении направления потоков следует помнить, что установленное направление может быть справедливо лишь для сравнительно ограниченной территории (участка). Ниже приводятся некоторые способы определения направления движения грунтовых вод.

По карте гидроизогипс направление потока устанавливается по высотным отметкам гидроизогипс (рис. 74). Более точные данные для отдельного участка получают методом трех скважин. Берут от-

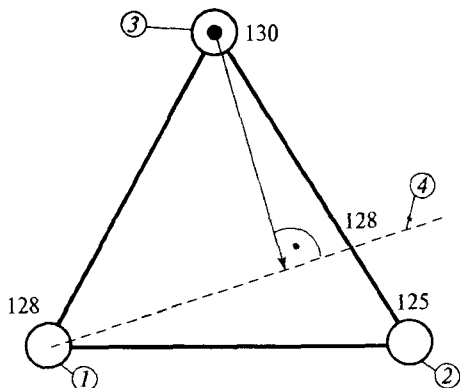


Р и с. 73. Формы потоков грунтовых вод:

а — плоский; *б* — радиальный расходящийся; *в* — радиальный сходящийся; *г* — криволинейный; 1 — гидроизогипсы



Р и с. 74. Определение направления потока воды по карте гидроизогипс



Р и с. 75. Определение направления потока грунтовой воды по трем буровым скважинам (1, 2, 3); 4 — гидроизогипс

метки уровней воды буровых скважин, расположенных на вершинах равностороннего треугольника, например, 128, 138 и 126 м (рис. 75). Между наибольшей и наименьшей отметками, т. е. 138 и 126 м, путем линейной интерполяции находят точку с отметкой воды 128 м. Две одинаковые отметки соединяют линией. На эту линию с наибольшей отметки опускают перпендикуляр, который и указывает направление потока воды. Можно также использовать метод красителей (или солей). Для этого необходимо иметь несколько скважин. В центральную скважину (опытную) вводят сильный органический краситель (для кислых вод, например, метиленовый голубой, щелочных — флюоресцеин и т. д.). Появление красителя в одной из наблюдательных скважин указывает направление потока воды.

Межпластовые подземные воды. Границами таких потоков служат нижний и верхний водоупор. Напорные потоки характеризуются полным заполнением поперечного сечения водопроницаемого пласта водой, имеется пьезометрический уровень, движение воды происходит как под действием гравитации, так и за счет упругих свойств воды и водовмещающих пород, режим фильтрации — упругий.

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

Фильтрационные показатели горных пород. К основным фильтрационным параметрам относят коэффициент фильтрации, а также коэффициенты водопроводимости, пьезопроводности и уровень непроводности.

Коэффициент фильтрации k_f . Как следует из основного закона движения подземных вод, коэффициент фильтрации — это скорость фильтрации при напорном градиенте $I = 1$. Коэффициент фильтрации грунтов в основном определяется геометрией пор, т. е. их размерами и формой. На значение коэффициента фильтрации влияют также свойства фильтрующейся воды (вязкость, плотность), минеральный состав грунтов, степень засоленности и др. Вязкость воды, в свою очередь, зависит от температуры, поэтому нередко вводится поправочный температурный коэффициент (0,7—0,03) для приведения водопроницаемости к единой температуре 10 °С.

Методы определения. Приближенная оценка коэффициента фильтрации возможна по табличным данным (табл. 31).

Таблица 31

Коэффициент фильтрации некоторых горных пород

Характеристика пород	Коэффициент фильтрации, м/сут
Очень хорошо проницаемые галечники с крупным песком; сильно закарстованные и сильно трещиноватые породы	100—1000 и более
Хорошо проницаемые галечники и гравий, частично с мелким песком; крупный песок; чистый среднезернистый песок; закарстованные, трещиноватые и другие породы	100—10
Проницаемые галечники и гравий, засоренные мелким песком и частично глиной; среднезернистые и мелкозернистые пески; слабо закарстованные, малотрещиноватые и другие породы	10—1
Слабопроницаемые тонкозернистые пески, супеси; слаботрещиноватые породы	1—0,1
Весьма слабопроницаемые суглинки	0,1—0,001
Почти непроницаемые глины, плотные мергели и другие монолитные скальные породы	<0,001

Для получения более обоснованных значений коэффициента фильтрации применяют *расчетные, лабораторные и полевые методы*. Расчетным путем коэффициент фильтрации определяют преимущественно для песков и гравелистых пород. Расчетные методы являются приближенными и рекомендуются лишь на первоначальных стадиях исследования.

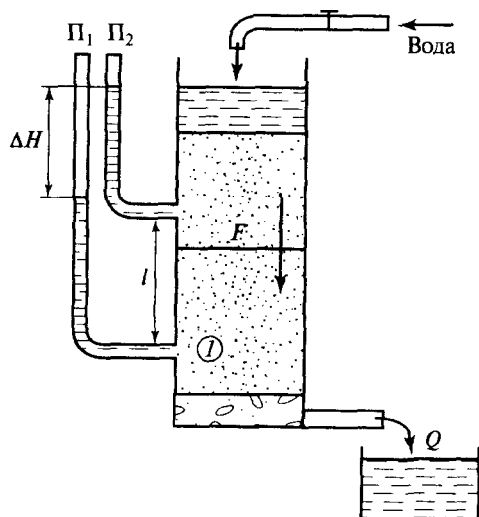
Для расчетов используют одну из многочисленных эмпирических формул, связывающих коэффициент фильтрации грунта с его гранулометрическим составом, пористостью, степенью однородности и т. д.

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

Приборы, моделирующие постоянство напорного градиента, т. е. установившееся движение (приборы Тима, Тима—Каменского, трубка конструкции СПЕЦГЕО), применимы в основном для грунтов с высокой водопроницаемостью, например для песков. Принцип работы приборов следующий. В цилиндрический сосуд с двумя боковыми пьезометрами Π_1 и Π_2 помещают испытуемый грунт (рис. 76). Через него фильтруют воду под напором. Зная диаметр цилиндра F , напорный градиент ($I = \Delta H/L$) и измерив расход профильтровавшейся воды Q , находят коэффициент фильтрации по формуле

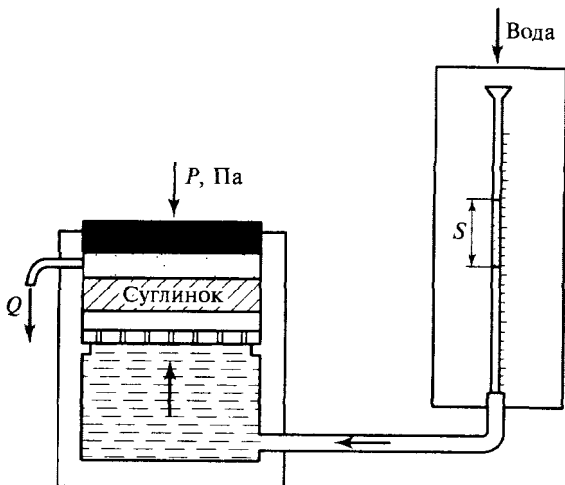
$$Q = k_{\phi} I F; \quad k_{\phi} = Q/FI = QL/F(h_1 - h_2),$$

где h_1 и h_2 — показания пьезометров; L — расстояние между точками их присоединения. Для суглинков и супесей применяют приборы типа ПВГ (рис. 77), позволяющие определять k_{ϕ} образцов с нарушенной и ненарушенной структурой. Для глинистых пород наибольшее значение имеет определение k_{ϕ} в образцах с ненарушенной структурой, обжатых нагрузкой, под которой грунт будет находиться в основаниях зданий и сооружений.



Р и с. 76. Схема прибора для определения коэффициента фильтрации в образце песка (I)

Р и с. 77. Схема прибора
для определения
коэффициента
фильтрации
в супесях и суглинках



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

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

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

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

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

Коэффициент водопроводимости (T , м/сут) представляет собой произведение коэффициента фильтрации k_ϕ на мощность водоносного пласта h_{cp} или m

$$T = k_\phi h_{cp}, \quad T = k_\phi m,$$

где $h_{\text{ср}}$ — средняя мощность безнапорного водоносного пласта; m — мощность напорного пласта.

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

$$\alpha = k_{\text{ф}} / (n_{\text{акт}} \beta_{\text{в}} + \beta_{\text{п}}),$$

где $k_{\text{ф}}$ — коэффициент фильтрации породы; $n_{\text{акт}}$ — активная пористость; $\beta_{\text{в}}$ и $\beta_{\text{п}}$ — коэффициенты объемной упругости соответственно воды и породы.

Коэффициент пьезопроводности используют в тех случаях, когда влиянием упругих деформаций воды и водоносной породы в напорном пласте пренебрегать нельзя во избежание значительных искажений расчетных значений, например при расчете дебита водозабора, эксплуатирующего напорные воды, на глубине нескольких сотен метров.

Коэффициент уровнепроводности отражает способность водоносного пласта передавать изменения уровня подземных вод со свободной поверхностью в процессе неустановившейся фильтрации. Коэффициент уровнепроводности $\alpha_{\text{у}}$ представляет собой отношение водопроводимости безнапорного пласта к гравитационной водоотдаче пород

$$\alpha_{\text{у}} = T/\mu \quad \text{или} \quad \alpha_{\text{у}} = k_{\text{ф}} h_{\text{ср}}/\mu,$$

где T — коэффициент водопроводимости безнапорного пласта, т. е. произведение коэффициента фильтрации на среднюю мощность водоносного безнапорного пласта, $\text{м}^2/\text{сут}$; μ — коэффициент гравитационной водоотдачи, или активная пористость водоносных пород.

Коэффициенты пьезопроводности для артезианских вод изменяются от 10^3 до $10^7 \text{ м}^2/\text{сут}$, а коэффициенты уровнепроводности для грунтовых вод от $0,2 \cdot 10^3$ до $10^4 \text{ м}^2/\text{сут}$. Обычно значения коэффициентов пьезопроводности составляют сотни тысяч и миллионы, а коэффициентов уровнепроводности — порядка нескольких тысяч квадратных метров в сутки. Максимальные значения коэффициентов уровне- и пьезопроводности характерны для гравийно-галечных и трещиноватых скальных пород.

Для гидрогеологических расчетов в условиях установившейся фильтрации достаточно иметь данные только о коэффициенте фильтрации. При неустановившемся движении необходимо опре-

делять не только коэффициент фильтрации, но и коэффициенты уровнепроводности (пьезопроводности).

Коэффициенты уровне- и пьезопроводности определяют опытным путем по данным откачек воды из скважин, наблюдений за восстановлением уровня после откачек, а также в результате анализа работы действующих водозаборов.

Расход плоского грунтового потока (Q , м³/сут). Типичным примером плоского потока может служить движение подземных вод к траншеям, штольням и другим горизонтальным выработкам. Плоский поток может быть грунтовым (безнапорным) и перемещаться в однородных и неоднородных пластах, при горизонтальных и наклонных водоупорах.

Расход грунтового (безнапорного) потока в однородных слоях пород. Водоупор горизонтальный. Согласно основному закону фильтрации — закону Дарси — в пределах рассматриваемого участка (рис. 78, а) от сечения I до сечения II расход грунтового потока в однородных пластах может быть определен как

$$Q = k_{\phi} B I_{\text{ср}} h_{\text{ср}},$$

где k_{ϕ} — коэффициент фильтрации водоносного пласта, м/сут; $I_{\text{ср}}$ — средний напорный градиент потока; B — ширина потока, м; $h_{\text{ср}}$ — средняя мощность потока, м.

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

$$Q = [k_{\phi} B (h_1 + h_2)/2] \{ (h_1 - h_2)/l \} = k_{\phi} B h_{\text{ср}} (h_1^2 - h_2^2)/2l.$$

Расход плоского потока удобнее выражать на единицу его ширины, т. е. в виде единичного расхода $q = Q/B$, где q — еди-

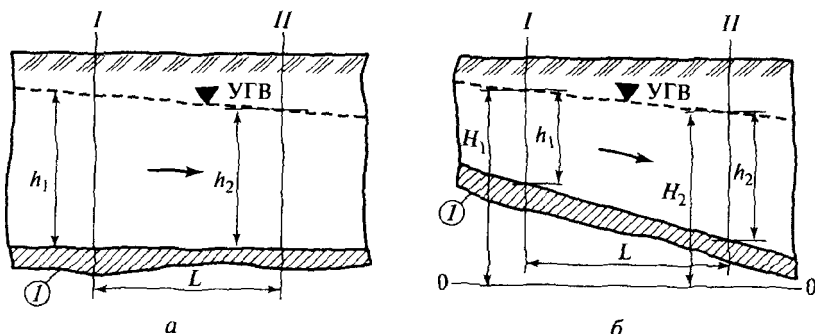


Рис. 78. Схема для расчета расхода плоского потока грунтовых вод с горизонтальным (а) и наклонным (б) водоупорами (I)

ничный расход плоского потока, т. е. количество воды, протекающее в единицу времени через сечение потока шириной 1 м:

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

При значительной разности мощностей m_1 и m_2 для расчетов используют формулу Н.Н. Биндемана:

$$q = k_{\phi} \frac{m_1 + m_2}{\ln \frac{m_2}{m_1}} \frac{H_1 - H_2}{l}.$$

Значительную трудность при расчете притока воды к горизонтальным выработкам представляют условия неоднородной слоистой толщи горных пород.

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

Водоупор наклонный (рис. 78, б). Единичный расход грунтового потока определяют также из закона Дарси:

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

где H_1 и H_2 — напоры воды в сечениях I и II , отсчитанные от условной плоскости сравнения (0—0) или уровня моря.

Приток грунтовых вод к водозаборным сооружениям. *Водозаборы* — это сооружения, с помощью которых происходит захват (забор) подземных вод для водоснабжения, отвод их с территорий строительства или просто в целях понижения уровней грунтовых вод. Существуют различные типы подземных водозаборных сооружений: вертикальные, горизонтальные, лучевые.

К *вертикальным* водозаборам относят буровые скважины и шахтовые колодцы, к *горизонтальным* — траншеи, галереи, штольни, к *лучевым* — водосборные колодцы с водоприемными лучами-фильтрами. Тип сооружения для забора подземной воды выбирают на основе технико-экономического расчета, исходя из глубины залегания водоносного слоя, его мощности, литологического состава водоносных пород и намечаемой производительности водозабора.

Водозаборы, состоящие из одной скважины, колодца и т. д., называют одиночными, а из нескольких — групповыми.

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

Отвод грунтовых вод со строительных площадок или снижение их уровней может производиться временно, только на период производства строительных работ или практически на весь период эксплуатации объекта. Временный отвод воды (или снижение уровня) называют строительным водозабором, а во втором случае — дренажами.

Депрессионные воронки. При откачке воды вследствие трения воды о частицы грунта происходит воронкообразное понижение уровня. Образуется воронка депрессии, имеющая в плане форму, близкую к кругу. В вертикальном разрезе воронка ограничивается кривыми депрессии, кривизна которых возрастает по мере приближения к точке откачки (рис. 79).

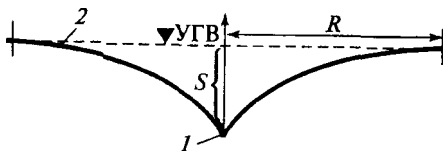
Установление границ депрессионной воронки имеет большое практическое значение при оценке фильтрационных свойств пород, выделении зон санитарной охраны, определении площадей, которые осушаются дренажами, расстояний между соседними водозаборами и т. д.

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

Величина R входит во многие расчетные формулы при проектировании водозаборов строительных или дренажных сооружений. Величину R можно определять: 1) по формулам, 2) бурением скважин и 3) по аналогии с действующими водозаборами. Из формул используют расчет Кусакина (для ненапорной воды):

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

где S — понижение уровня при откачке по центру воронки, м;
 H — мощность слоя грунтовой воды, м.



Р и с. 79. Депрессионная воронка:

1 — точка откачки; 2 — нормальный уровень; S — понижение уровня в центре воронки; R — радиус воронки

Можно также определить по формуле

$$R = 3Q/(2Hk_{\phi}I),$$

где Q — дебит, м³/сут; I — гидравлический уклон.

Бурение скважин дает точные значения R , но это работа трудоемкая (рис. 80). Ориентировочные значения R приведены в табл. 32 и на рис. 81.

Таблица 32

Значения радиуса влияния на каждые 10 м понижения воды

Порода	Радиус влияния R , м
Мелкозернистые пески	50—100
Среднезернистые пески	100—200
Крупнозернистые пески	200—400
Очень крупнозернистые пески, галечники и сильнотрещиноватые породы	400—600 и более

В песках уклоны кривых депрессий составляют 0,02—0,006, а в суглинках 0,1—0,05.

Водозаборные сооружения. Для водоснабжения и водопонижения чаще всего используют колодцы и буровые скважины. Принцип их работы практически одинаковый. Они являются наиболее распространенным типом водозаборных сооружений. Движение подземных вод к ним в период откачки происходит в форме радиального потока.

Прогноз возможного притока грунтовых вод к водозаборным колодцам имеет большое практическое значение, так как позволяет спроектировать наиболее рациональную систему водозабора или мероприятия по понижению уровня грунтовых вод.

В зависимости от конфигурации строительные котлованы (карьеры и др.) можно разделить на квадратные и прямоугольные. Первые можно рассматривать как колодцы, т. е. вертикальные выработки определенного диаметра; вторые больше отвечают горизонтальным выработкам типа траншеи (канавы). В связи

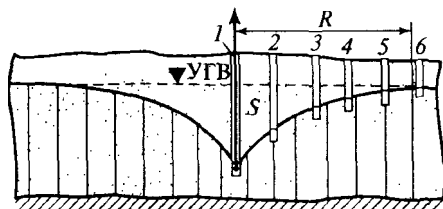
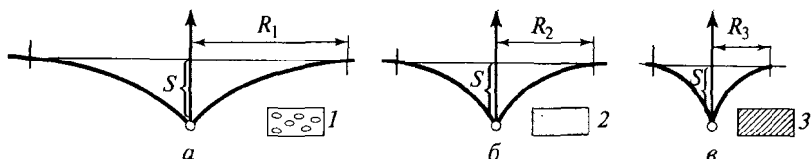


Рис. 80. Определение радиуса влияния откачки R по буровым скважинам:

1 — скважина, из которой производится откачка воды; 2—6 — скважины для замера уровней грунтовой воды



Р и с. 81. Формы депрессионных воронок в разных породах (при одинаковых значениях понижения S):

1 — гравий; 2 — песок; 3 — супесь

с этим ниже будет рассмотрено два вида водосборов — колодцы и траншеи.

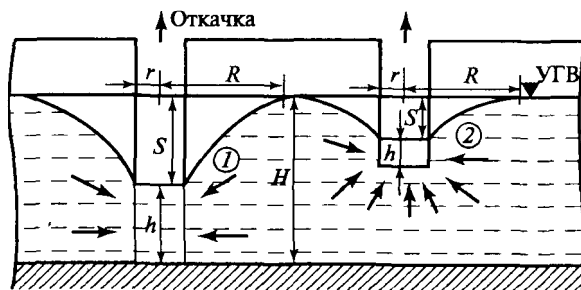
Колодцы и траншеи, дно которых достигает водоупоров, называют *совершенными*; если дно располагается выше водоупора — *несовершенными* (рис. 82). Уровень воды в колодце до откачки называют *статическим*, а уровень, пониженный в процессе откачки, — *динамическим*.

Водозаборные колодцы. Если из колодца вода не откачивается, то ее уровень находится в одном положении с поверхностью грунтового потока. При откачке воды возникает депрессионная воронка, уровень воды в колодце понижается. Производительность колодца определяется величиной дебита. Под *дебитом колодца* понимают максимальное количество воды, которое он может дать в единицу времени при постоянстве уровня воды в колодце (Q , м³/сут). При откачке воды в количестве больше, чем величина дебита, т. е. больше того, что притекает к колодцу из водоносного слоя в единицу времени, уровень резко понижается. На некоторое время колодец может остаться без воды.

Приток воды (дебит) к совершенному колодцу определяют по формуле

$$Q = \pi k_{\phi} [H^2 - h^2] / (\ln R - \ln r),$$

где r — радиус колодца, м.



Р и с. 82. Водозаборные колодцы совершенного (1) и несовершенного (2) видов

В несовершенный колодец вода поступает через его стенки и дно. Это усложняет расчет притока. Дебит таких колодцев меньше дебита совершенных колодцев. При откачке вода поступает в колодец только из части водоносного слоя, которую называют *активной зоной* H_0 . Глубину активной зоны принимают $\frac{1}{3}$ высоты столба воды в колодце до откачки. Эти положения позволяют для несовершенного колодца расход рассчитывать по формуле Дюпюи, в интерпретации Паркера:

$$Q = 1,36 k_{\phi} [(H_0^2 - h_0^2) / (\lg R - \lg r)].$$

Колодец отдает воду в объеме своего дебита лишь в том случае, если соседние колодцы будут расположены от него на расстоянии не менее двух радиусов влияния.

Поглощающий колодец (скважины, шурфы) предназначается для сброса с поверхности земли сточных вод, для пополнения запасов подземных вод путем закачки в него воды, а также для оценки водопоглощения неводоносных пород, например на полях фильтрации.

Опытами установлено, что поглощать воду могут не только безводные (сухие) водопроницаемые слои, но и водоносные горизонты (безнапорные). При поглощении воды колодцем вокруг него возникает воронка поглощения, по форме аналогичная депрессионной, но обращенная выпуклостью вверх (рис. 83).

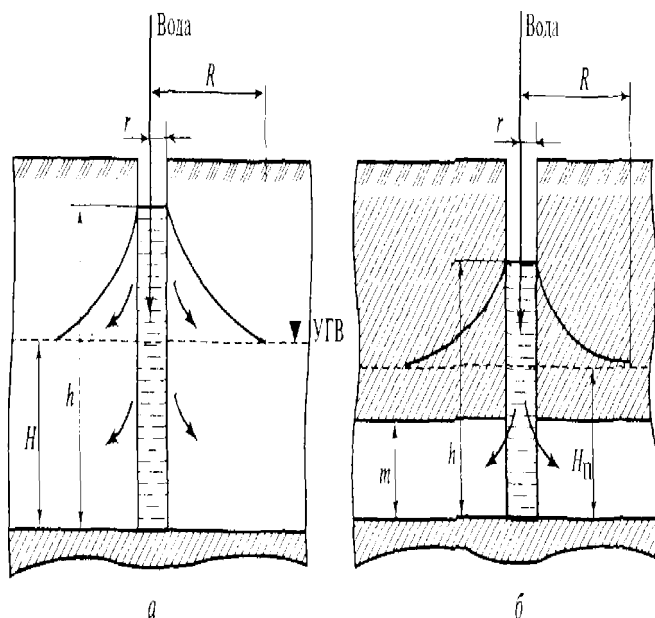
Дебит поглощающих колодцев можно определить по известным формулам Дюпюи, заменив в них величину понижения уровня на величину повышения уровня воды и поставив перед ними отрицательный знак. После этого формула Дюпюи примет такой вид (для безнапорных вод):

$$Q = \pi k_{\phi} [(h - H^2) / (\ln R - \ln r)],$$

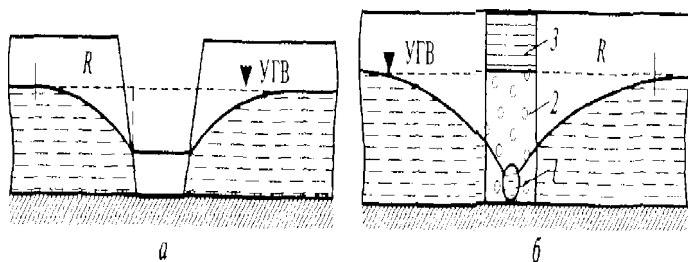
где h — высота столба воды в колодце, отсчитываемая от подошвы водоносного слоя, остальные обозначения прежние и показаны на рис. 84. В безводных породах принимают $H = 0$.

Приведенные выше формулы Дюпюи могут быть использованы для определения потерь на фильтрацию сточных вод на полях орошения и других бассейнах.

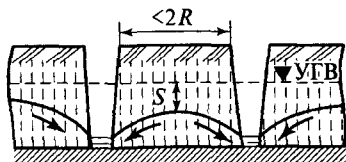
Траншеи (канавы) предназначены для понижения уровня грунтовых вод (рис. 85). Они входят в систему дренажных устройств. При расчете притока воды следует учитывать, что канавы могут быть совершенного и несовершенного вида и приток воды к ним может быть с одной или двух сторон. Расход воды Q , м³/сут,



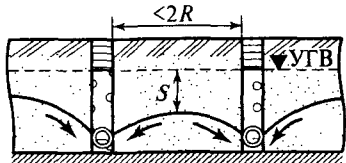
Р и с. 83. Поглощающие колодцы для сброса воды в глубину грунтовых толщ:
 а — в грунтовые воды; б — в межпластовые воды; R — радиус поглощения



Р и с. 84. Горизонтальные дренажи:
 а — открытая траншея; б — закрытая траншея; 1 — дренажная труба; 2 — фильтрующий материал; 3 — слой глинистого грунта для предохранения фильтрующего материала от проникновения атмосферной воды



а



б

Р и с. 85. Дренажные траншеи:
а — открытые; б — закрытые

совершенной канавы при притоке воды с двух сторон определяют по формуле

$$Q = k_{\phi} L (H^2 - h^2) / R,$$

а при притоке с одной стороны

$$Q = k_{\phi} L (H^2 - h^2) / 2R,$$

где L — длина канавы, м; H — мощность грунтовой воды, м; h — столб воды в канаве, м; R — радиус влияния, м.

Несовершенная канава имеет расход воды $Q_{н.к}$ меньше совершенной канавы $Q_{сов.к}$

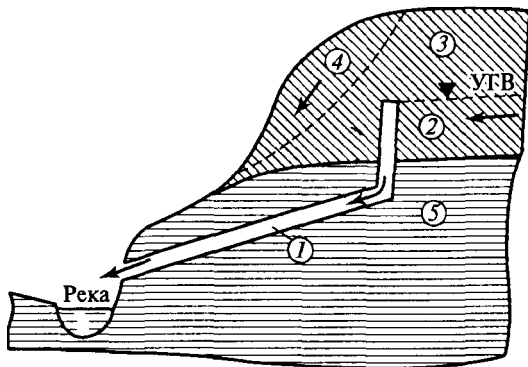
$$Q_{н.к} = Q_{сов.к} t / H,$$

где t — расстояние от дна канавы до нормального уровня.

Дренажные траншеи могут быть *открытые* и *закрытые*. Открытые более мелкие (менее 2,5 м) траншеи чаще называют канавами. Закрытые имеют большую глубину и чаще используются на городских территориях. Вода сбрасывается по уложенным в траншеях трубам (рис. 86).

Дренажные канавы будут эффективно осушать территорию лишь в том случае, если расстояние между канавами будет меньше $2R$, т. е. при условии пересечения кривых депрессионных воронок.

Взаимодействие водозаборов. Эффективность работы водозаборов зависит, в частности, от расстояния между ними. Только в тех



Р и с. 86. Подземная водосборная галерея:

1 — галерея; 2 — поток грунтовой воды; 3 — водонасыщенный суглинок; 4 — возможное оползневое тело; 5 — водоупор

случаях, когда расстояние между водозаборными колодцами (скважинами) будет больше двух депрессионных радиусов (больше $2R$), каждый колодец может давать воду на уровне своего дебита. Иначе должно обстоять дело при решении вопросов понижения уровня грунтовых вод. Расстояния между точками водопонижения (траншей, скважин и т. д.) не может превышать $2R$. Депрессионные воронки должны пересекаться. Это обеспечивает понижение уровней на всей строительной площадке.

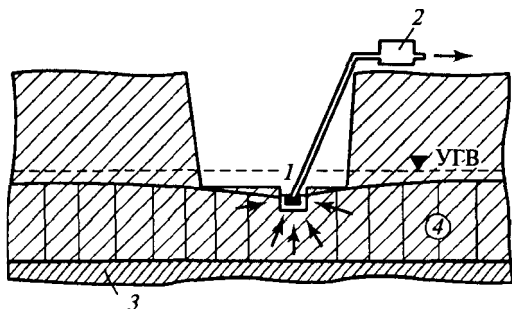
Водопонижение уровней грунтовых вод на строительных площадях. Гидрогеологические изыскания, проводимые перед проектированием и строительством, устанавливают возможное влияние грунтовых вод на здания и сооружения. Во многих случаях необходимость в этих работах появляется в связи с подъемом уровня грунтовых вод уже на застроенных территориях. В тех случаях, когда грунтовые воды осложняют строительство и будут мешать в дальнейшем, принимают решение о понижении их уровня.

Понижение уровней грунтовых вод на строительных площадях осуществляют различными способами. Это может быть достигнуто разными типами дренажей:

- самотеком воды;
- принудительной откачкой открытым или закрытым способом;
- отводом воды по горизонтали или вертикали;
- откачкой воды дренажами, которые обеспечивают сохранение уровней постоянно в пониженном положении.

Самотек грунтовой воды всецело зависит от рельефа местности. Водоносный слой может быть сверху вниз по склону прорезан откосной дренажной траншеей. Свободный выход воды приводит к снижению уровня грунтовой воды в пределах депрессионных понижений. Такой свободный выход воды осуществляется также с помощью подземных галерей, которые закладываются в глубину склона и прорезают водоносные слои. Подземные галереи чаще всего применяют на оползневых склонах с целью их осушения и предотвращения движения грунтовых масс.

Принудительную откачку воды осуществляют с помощью насосов. На рис. 87 показана открытая откачка воды непосредственно из строительного котлована насосом, который установлен за его пределами. На рис. 88 показан способ осушения строительного котлована иглофильтровыми установками, которые состоят из системы иглофильтров (тонких металлических труб длиной 7—9 м с фильтром на их нижних концах). Трубы устанавливают вокруг котлованов или вдоль траншей и присоединяют к всасывающему коллектору. Легкие иглофильтровые установки (ЛИУ) понижают уровень подземных вод на 4,5 м (одним ярусом) в песчаных грунтах с коэффициентом фильтрации от 1—2 до



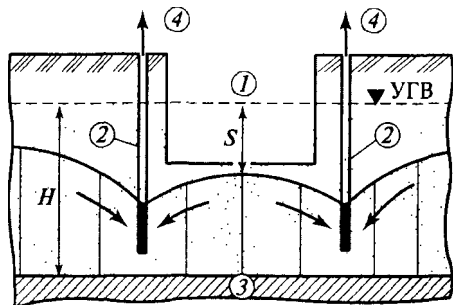
Р и с. 87. Схема открытого водоотлива из строительного котлована:

1 — приямок, оборудованный фильтром; 2 — насос с водоотводящим лотком; 3 — водоупор; 4 — пониженный уровень грунтовой воды

40—50 м/сут. При глубоком водопонижении применяют два или три яруса установок. Для осушения тонкозернистых песков и супесей, плохо отдающих воду, с $k_{\phi} = 0,01 \dots 1,0$ м/сут используют эжекторные иглофильтры. С их помощью в водонасыщенном грунте создается вакуум, улучшается водоотдача и эффект водопонижения усиливается. Эжекторные иглофильтры и другие установки вакуумного водопонижения широко применяют для ликвидации аварий на водопроводно-канализационной сети городов.

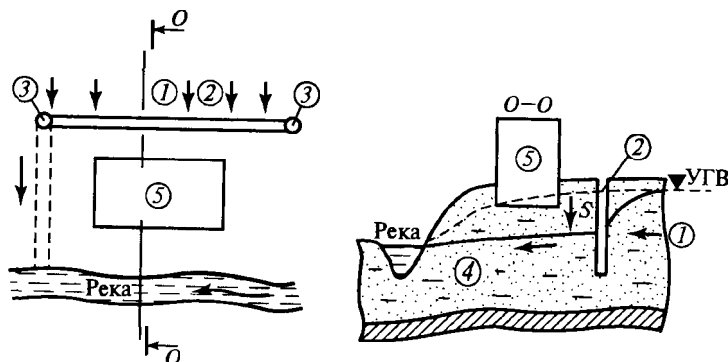
Отвод воды из района строительного котлована может осуществляться как по горизонтали, так и по вертикали. Отвод воды по горизонтали производится с помощью дренажных траншей, а по вертикали — колодцев и буровых скважин.

Горизонтальные дренажные траншеи заглубляются в водоносные слои и бывают *открытыми* и *закрытыми*. Последнее типично городским территориям (см. рис. 89). Снижение уровней воды по вертикали обеспечивается либо откачкой воды насосами вверх, как это было показано на примере иглофильтров, так и в глубину грунтовых вод, но самотеком. Этот способ может быть эффективным только при определенном геологическом строении участка, когда под первым от поверхности водоупорном слое, на котором располагается грунтовая вода, залегает слой песка или что-либо подобное, хорошо принимающее воду.



Р и с. 88. Осушение строительного котлована иглофильтрами:

1 — строительный котлован; 2 — иглофильтры; 3 — водоупор; 4 — откачка воды; S — понижение уровня воды



Р и с. 89. Головной дренаж (план и разрез участка):

1 — направление потока грунтовой воды; 2 — головная дрена; 3 — смотровые колодцы; 4 — пониженный уровень; 5 — здания

Недостатком всех закрытых дренажей является сравнительно непродолжительный срок работы, вследствие загрязнения (заиления) фильтрующих засыпок. В отдельных случаях целесообразно создать комбинированные типы водопонижителей, соединяя вместе отвод воды по горизонтали и вертикали.

Системы дренажей. Под этим понятием имеется в виду расположение дренажных устройств в плане по отношению к зданиям и сооружениям. На защищаемых от подтопления территориях в зависимости от особенностей рельефа и конкретных геологических условий, характера застройки, степени освоенности подземного пространства, условий движения подземных вод со стороны водораздела и берега водоема применяют следующие основные схемы защитных дренажей: однолинейную, двухлинейную, многолинейную, кольцевую и комбинированную. Во всех этих дренажах вода отводится за счет самотека.

Линейная схема в виде головного дренажа используется для перехвата потока грунтовой воды выше объекта. Поток перерезается полностью или частично, но так, чтобы уровень воды опустился на необходимую глубину. Такой дренаж обеспечивает надежное понижение уровня грунтовых вод, если водоупорный слой залегает не глубже 4—5 м. На рис. 90 показано линейное расположение дренажной траншеи в плане по отношению к зданию, и разрез, на котором виден принцип работы.

Береговой дренаж устраивается в различных схемах, но главной особенностью является то, что чаще всего он применяется при устройстве водохранилищ, либо водоемы имеют значительные подъемы уровней воды. Береговой дренаж в виде однолинейной схемы — это одиночная протяженная дрена, расположенная вдоль

одной из границ защищаемой территории. В зависимости от места расположения этой дрены по отношению к защищаемой площадке ее называют головной или береговой. Головная дрена перехватывает поток грунтовой воды от водораздела и располагается вдоль верхней границы защищаемой территории. Береговая дрена устраивается у нижней границы защищаемой территории вдоль берега водоема и служит для перехвата грунтовых вод со стороны водораздела. Воды со стороны берега может перехватывать и головная дрена. Какая из дрен является предпочтительной, определяет фильтрационный расчет для каждой конкретной геологической и гидрогеологической обстановки (рис. 91). Обычно эти расчеты предусматривают мероприятия, исключающие отрицательное влияние обходной фильтрации на эффективность работы дренажной системы. Это достигается продлением концевых дрен.

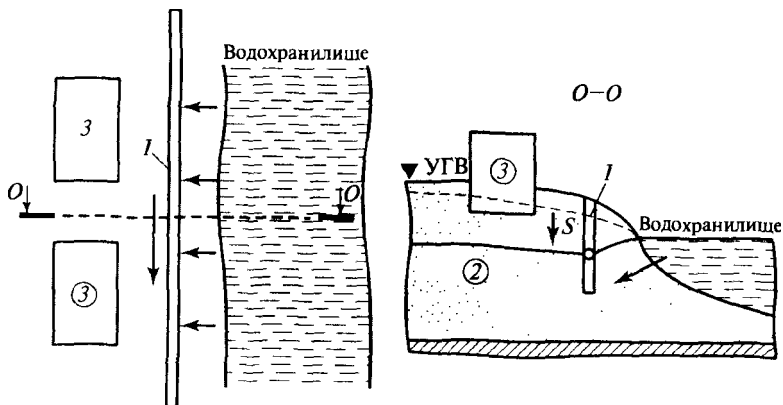


Рис. 90. Береговой дренаж (план и разрез участка):
1 — береговая дрена; 2 — пониженный уровень; 3 — здания

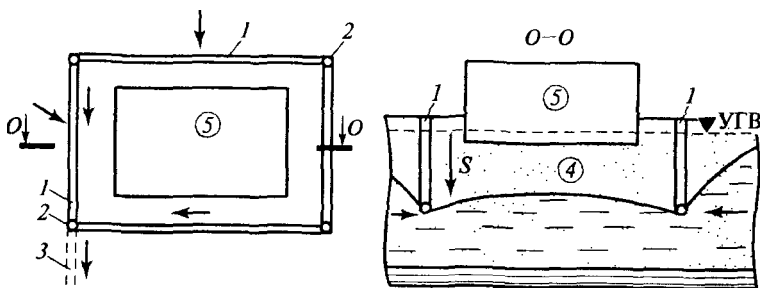


Рис. 91. Кольцевой дренаж (план и разрез участка):
1 — дрены; 2 — смотровые колодцы; 3 — сбросная часть дренажа; 4 — пониженный уровень; 5 — здания

Береговой дренаж в виде двухлинейной схемы обеспечивается двумя линейными дренами, одна из которых располагается вдоль берега, а вторая вдоль верхней границы защищаемой территории. Это, по-существу, модификация однолинейной схемы, обусловленная большой площадью защиты и значительным подпором грунтовых вод, который не может быть локализован работой одной линейной дрены (т. е. не может быть обеспечено требуемое снижение депрессионной кривой — нормы осушения). Первая из двух дренажей выполняет роль береговой, а вторая — головной дренажей (рис. 91).

Систематический дренаж в виде многолинейной схемы применяют главным образом при незначительной мощности водоносного слоя, но при значительном инфильтрационном питании по всей защищаемой территории обычного равнинного типа. Целью является равномерное и длительное осушение (понижение уровня) значительных территорий (часть территории города, заводские площадки и т. д.). В зависимости от геологического строения территории этот дренаж может быть горизонтальным или вертикальным (рис. 92 и 93).

Кольцевой дренаж защищает от подтопления подвальные помещения отдельных зданий или небольшие участки, а также используется для борьбы с подтоплением отдельных сооружений с глубокими фундаментами, например, подземных емкостей (резер-

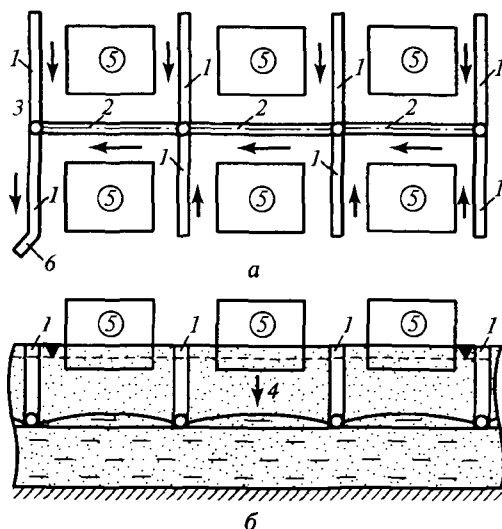
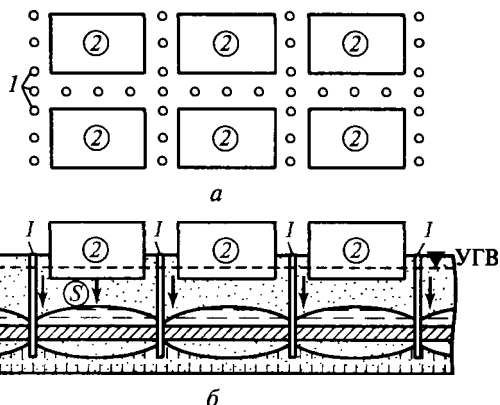


Рис. 92. Систематический дренаж горизонтального типа:

а — план участка; *б* — схема разреза по участку; 1 — дренажи; 2 — дренажный коллектор; 3 — смотровой колодец; 4 — пониженный уровень; 5 — кварталы города; 6 — сброс воды

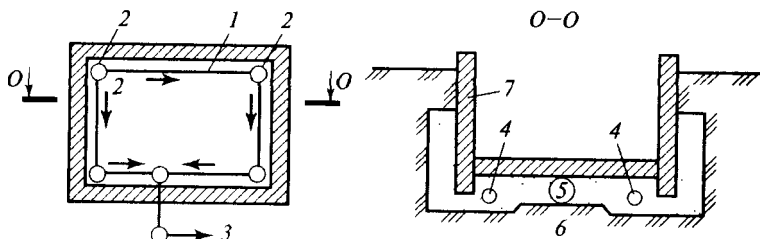


Р и с. 93. Систематический дренаж вертикального типа:

а — план участка; *б* — схема разреза по участку; 1 — поглощающие буровые скважины; 2 — кварталы города; 5 — пониженные уровни

вуаров). Он может обеспечить полный перехват воды по контуру защищаемого участка, снизить напоры и уровни подземных вод и тем самым предотвратить «всплывание» подземных емкостей при их опорожнении (рис. 91). Кольцевые дренажи иногда называют «контурными». В зависимости от гидрогеологических условий площадки и требуемого понижения уровня подземных вод дренаж выполняется лишь в виде полного кольца либо в виде полукольца П- или Г-образной формы. Сброс дренажных вод осуществляется также самотеком при небольшом заглублении или насосной станцией в случае значительной глубины дренажа.

Пластовые дренажи являются точечной системой и служат для защиты отдельных зданий и дорог от возможного подтопления грунтовыми водами, уровень которых поднимается. По контуру сооружений укладывается дренажный слой из песка (или гравия) с дренажной трубой (рис. 94).



Р и с. 94. Пластовый дренаж (план и разрез):

1 — дренаи; 2 — смотровые колодцы; 3 — сброс воды; 4 — дренажные трубы; 5 — крупнозернистый песок; 6 — грунт основания; 7 — фундамент здания

Против накопления влаги в грунтах зоны аэрации (под фундаментами зданий) можно устраивать вентиляционный дренаж в виде перфорированных труб или галерей, через которые постоянно движется воздух в целях испарения влаги из грунта основания.

Комбинированная схема дренажа включает наряду с линейным дренажем, обеспечивающим общее понижение уровня подземных вод на защищаемой территории, локальные дренажные системы, обеспечивающие необходимое местное понижение уровня, в виде кольцевого дренажа у значительно заглубленного здания или естественных понижений в виде русла или тальвега (см. рис. 92). По условиям работы среди вертикального и горизонтального видов дренажа различают *совершенный* и *несовершенный*. В первом случае прорезается водоносный слой вплоть до водоупора, во втором — дренаж располагается в водоносном слое и до водоупора не доходит.

Фильтрационные расчеты дренажей на защищаемых от подтопления грунтовыми водами территориях выполняют в целях:

- определения влияния инфильтрации на характер грунтовых вод;
- установления связи между изменением уровня воды со стороны берега и положением уровня воды со стороны берега и положением депрессионной поверхности фильтрационного потока в глубине территории;
- выбора рациональной схемы и конструкций дренажных устройств, обеспечивающих надежную защиту территории от подтопления;
- определения притока в дренажную систему фильтрационных вод, подлежащих самотечному или машинному (насосами) сбросу в водоприемник.

Фильтрационные расчеты должны базироваться на достаточно надежных данных инженерно-геологических и инженерно-гидрогеологических изысканий в районе защищаемой территории, чтобы на их основе правильно отобразить в расчетных схемах действительные природные условия. Необходимая для этих целей информация должна содержать оценку геологического строения (характер залегания грунтов) защищаемой территории, водопроницаемость грунтов (значение коэффициентов фильтрации), положение депрессионной поверхности в естественном состоянии, характер питания и дренирования грунтовых вод в естественных условиях.

Оценку влияния инфильтрации и подпора территории со стороны берега на характер грунтовых вод выполняют как для установившегося, так и неуставившегося фильтрационных потоков, что оказывается важным при организации производства строительных работ на защищаемой территории.

Фiltrационные расчеты базируются на решении задач фильтрации в пористой среде с использованием уравнений механики жидкости (в частности, уравнения Дарси). При этом фильтрующая жидкость — вода принимается несжимаемой, движение неразрывным в ламинарном режиме.

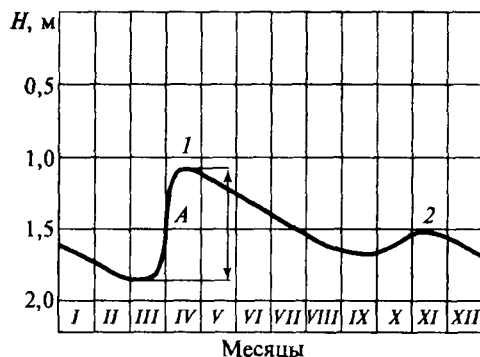
Глава 17

РЕЖИМ И ЗАПАСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Режим подземных вод — это изменение во времени их уровня, химического состава, температуры и расхода. В естественных условиях для подземных вод характерен ненарушенный (естественный) режим, который формируется в основном под влиянием метеорологических, гидрологических и геологических факторов.

Метеорологические факторы (осадки, испарение, температура воздуха, атмосферное давление) — основные в формировании режима грунтовых вод. Они вызывают сезонные и годовые (многолетние) колебания уровня, а также изменения химизма, температуры и расхода грунтовых вод.

Сезонные колебания уровня обусловлены неравномерностью выпадения осадков и изменениями температуры воздуха в течение года. Наибольшие колебания уровней приходятся на периоды весеннего снеготаяния (весенний максимум) и осенних дождей (осенний максимум). Наиболее низкое положение уровня в годовом цикле отмечается в конце лета — в начале осени и в конце зимы (рис. 95). Разность между наивысшим и наименьшим горизонтом подземных вод называют *максимальной амплитудой колебания уровня*.



Р и с. 95. Схема годового цикла сезонных колебаний уровня грунтовых вод:

1 — весенний паводок; 2 — осенний максимум; A — максимальная амплитуда колебаний уровня

Обычно амплитуды сезонных колебаний грунтовых вод не превышают 2,5—3,0 м, а максимальные составляют 10—15 м (в долинах горных рек, сложенных галечниками и закарстованными известняками).

Подъем уровня начинается лишь через некоторое время после выпадения осадков. Этот отрезок времени тем больше, чем меньше водопроницаемость пород и больше глубина залегания грунтовых вод.

Уровень грунтовых вод колеблется не только по сезонам, но и в многолетнем цикле. Это связано с ритмическими изменениями климата и приурочено к различным циклам, среди которых наиболее четко фиксируется 11-летний цикл. Амплитуды многолетних колебаний могут превышать амплитуды сезонных колебаний и достигать значительных размеров (до 8 м и более). Изучение многолетнего режима подземных вод необходимо для определения расчетного значения мощности водоносного горизонта, прогноза положения уровня на весь период длительной эксплуатации сооружений.

Гидрологический режим рек влияет на положение уровней подземных вод и их химизм в полосе шириной от 0,2—0,5 км (в песчано-глинистых отложениях) до 2—6 км в хорошо проницаемых породах. Колебания уровня подземных вод в речной долине с некоторым отставанием отражают колебания уровня реки.

В районах морских побережий уровень грунтовых вод изменяется под действием приливов и отливов.

Геологические факторы действуют на любом участке земной коры. С глубиной их значение увеличивается. Среди геологических факторов выделяют медленно действующие (тектонические движения, внутренняя теплота земного шара и др.) и эпизодические (землетрясения, вулканизм, оползни, грязевые вулканы).

В районах тектонических поднятий уровень подземных вод обычно снижается, так как породы лучше дренируются вследствие углубления эрозионных врезов (оврагов, долин). При опускании местности уровень грунтовых вод повышается. Изменяется и химизм воды. При землетрясениях появляются новые и исчезают старые источники, существенно меняется термический режим, химический и газовый состав подземных вод. Вулканические явления сопровождаются выделением огромного количества тепла, это приводит к резкому изменению температуры, химизма и уровня подземных вод. Изменения в режиме подземных вод часто фиксируются еще до начала землетрясения и извержения магмы, поэтому могут быть одним из критериев начала активизации их деятельности.

Режим артезианских, карстовых и надмерзлотных вод в естественных условиях существенно отличается от режима грунтовых вод. В сравнении с грунтовыми водами уровень и химический

состав артезианских вод подвержены значительно меньшим изменениям. Влияние метеорологических и гидрологических факторов существенно лишь в областях питания и разгрузки, где артезианские воды связаны с грунтовыми и поверхностными водами.

Резкой изменчивостью уровня, химизма и расхода отличаются карстовые воды, залегающие в верхней части карстового массива. Амплитуды колебания их уровней изменяются от 0,5 до 30 м и более, расходы карстовых источников в течение года меняются от десятков литров в секунду до десятков кубометров в секунду, изменяется химизм воды.

Режим надмерзлотных вод в районах многолетней мерзлоты неустойчив и связан с интенсивностью промерзания и оттаивания мерзлых грунтов. Максимальные расходы надмерзлотных вод наблюдаются в период наибольшего оттаивания деятельного слоя, минимальные — в конце зимы до начала снеготаяния.

Режим подземных вод и производственная деятельность человека. Инженерно-строительная деятельность человека изменяет естественные режимообразующие факторы и способствует возникновению новых факторов, в частности, так формируется искусственный (или нарушенный) режим подземных вод.

Деятельность человека может проявляться в повышении и понижении уровня подземных вод, в изменении их химического состава. Она затрагивает все подземные воды, включая и глубокозалегающие.

Повышение уровня подземных вод возможно при строительстве водохранилищ и других искусственных водоемов, орошении и утечках воды из подземных водонесущих коммуникаций, промышленных бассейнов, водохранилищ. Под влиянием искусственных факторов уровни могут подниматься на 10—15 м.

Особенно значительно обводняющее действие крупных водохранилищ. Так, уже через год после строительства Цимлянского водохранилища длиной 250 км и шириной до 20—30 км влияние подпора распространилось более чем на 6 км, а уровни грунтовых вод вблизи водохранилища поднялись на 5—7 м.

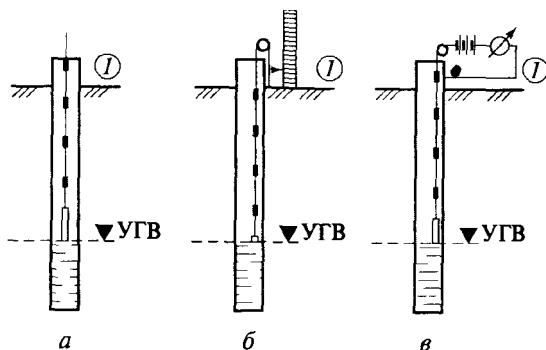
На территориях жилых районов и особенно на участках промышленных сооружений уровень грунтовых вод с течением времени, как правило, повышается. Так, на территории завода «Ростсельмаш» в Ростове-на-Дону грунтовые воды за последние 45 лет поднялись на 18—20 м. Глубина залегания зеркала от поверхности земли в ряде случаев составляет 1—3 м. Это связано с утечкой воды из водопроводных и канализационных систем, уменьшением испарения воды вследствие застройки территории и т. д. В тех случаях, когда основания объектов подстилаются хорошо проницаемыми породами (пески, галечники), накопления грунтовых вод не происходит.

Повышение уровней грунтовых вод в настоящее время стало типичным для всех городов России, и особенно расположенных на лессовых отложениях. Процесс получил наименование «подтопление» и весьма отрицательно влияет на природную среду. Следует отметить, что «подтопление» территорий городов и промышленных зон распространилось на весь мир. По некоторым данным, до 70% городов нашей планеты подтоплены. Интересен факт подтопления древнеегипетских пирамид Хуфу, Хефрена, Менофру и статуи Сфинкса в Гизе за счет утечек из водонесущих коммуникаций Каира. На городских территориях и в районах промышленных объектов, расположенных на лессовых отложениях, необходимо постоянно вести наблюдения за положением уровня грунтовых вод. Это осуществляется с помощью наблюдательных буровых скважин различными способами (рис. 96). Следует заметить, что эти работы должны быть обязательными для инженеров-строителей, которые заняты в сфере эксплуатации объектов.

Понижение уровня подземных вод вызывается длительными откачками воды для водоснабжения, осушением заболоченных земель, строительным водопонижением, дренажем и т. д. Чем интенсивнее работы по отбору воды из недр земли, тем на большую глубину снижаются уровни подземных вод. В ходе режимных наблюдений установлено снижение уровней в районах крупных водозаборов до 100 м и более. Искусственные факторы интенсивно воздействуют и на качество подземных вод. В первую очередь это отражается на питьевом водоснабжении. Весьма специфично влияние искусственных факторов в районах многолетней мерзлоты. Практически любое сооружение, возводимое в этих районах (водохранилища, очистные сооружения и т. д.), резко изменяет температуру и влажность мерзлых грунтов и оказывает существенное влияние на режим верхних горизонтов мерзлотных вод.

Р и с. 96. Способы измерения уровня грунтовых вод в наблюдательных (пьезометрических скважинах):

а — мерным тросом с «хлопушкой»; *б* — стационарным поплавком; *в* — электроуровнем; *Г* — поверхность земли



Режим подземных вод в районе водозаборов динамичен. В целом под влиянием водозаборов уровни подземных вод постепенно снижаются. На фоне общего снижения уровня отмечаются колебания, вызванные режимом работы водозабора, типом эксплуатируемого водоносного горизонта.

Изменение положения уровня в районах водозаборов влечет за собой изменение физических свойств, химического и бактериологического состава подземных вод. Нередко эти изменения приводят к значительному ухудшению их качества.

Баланс подземных вод. Под балансом подземных вод понимают соотношение между приходом и расходом подземных вод на данном участке за определенное время.

Режим и баланс подземных вод взаимосвязаны, и если первый отражает изменение количества и качества подземных вод во времени, то второй — результат этого изменения. Баланс может составляться для крупных территорий или для отдельных участков (поля орошения, групповые водозаборы и т. д.). Участки, где проводятся измерения прихода и расхода подземных вод, называют балансовыми.

С помощью баланса характеризуют водообеспеченность района и возможности ежегодного пополнения запасов подземных вод, изучают причины подтопления территорий, прогнозируют изменение уровня подземных вод.

Для решения этих вопросов необходимы данные о составляющих баланса: приходных и расходных.

Приходная часть складывается под влиянием естественных режимобразующих факторов и состоит из: инфильтрации атмосферных осадков A ; конденсации водяных паров K ; подземного притока Π .

Подземный приток в свою очередь включает боковой приток Π_1 , фильтрационные поступления из поверхностных водных источников (реки, озера) Π_2 и подток воды из нижележащего водоносного горизонта Π_3 .

Расходная часть баланса складывается из испарения I и подземного стока C .

Испарение включает расход воды за счет испарения с поверхности грунтовых вод и транспирации воды растительностью. Подземный сток может быть представлен боковым оттоком C_1 и перетоком в нижележащий водоносный горизонт C_2 .

Балансовое уравнение грунтовых вод для данного участка за время t имеет вид:

$$\Delta W = A + K + \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 - I - C_1 - C_2,$$

где ΔW — изменение запасов грунтовых вод за время t .

Для решения балансовых уравнений применяют экспериментальные и расчетные методы. В первом случае все основные статьи балансов подземных вод определяют непосредственным измерением, во втором их рассчитывают на основе режимных наблюдений, используя уравнения неустановившегося движения в конечных разностях.

Запасы подземных вод — это количество (объем) свободной воды, содержащейся в водоносных слоях. Подземные воды, пригодные для использования в народном хозяйстве, относятся к ценнейшим полезным ископаемым. В отличие от твердых полезных ископаемых они могут находиться в движении и периодически возобновляться. Оценка запасов имеет важное значение для водоснабжения. Ни один водозабор не может быть построен и пущен в эксплуатацию без предварительного подсчета запасов подземных вод. Тип водозаборных сооружений, варианты их размещения, оптимальный режим работы и другие вопросы, связанные с использованием подземных вод для нужд водоснабжения, решаются на основе подсчитанных запасов подземных вод.

В настоящее время большинство исследователей подразделяют запасы подземных вод на естественные и эксплуатационные.

Естественные запасы подземных вод — это объем гравитационной воды, который содержится в водоносных пластах в естественных условиях (в статическом состоянии или в движении). Естественные запасы слагаются из статических, упругих и динамических запасов.

Статические и упругие запасы характеризуют объем гравитационной воды в порах и трещинах водоносных пород (в кубических метрах). Упругие запасы — это количество воды, которое может быть извлечено из напорного водоносного пласта без его осушения за счет упругих свойств воды и горных пород при понижении уровня.

Под динамическими запасами (или естественными ресурсами) понимают расход подземных вод ($\text{м}^3/\text{сут}$), протекающих через водоносный пласт. Динамические запасы в процессе круговорота воды на земле постоянно возобновляются. Роль этих запасов значительна.

Эксплуатационные запасы подземных вод. При эксплуатации водозаборов естественные условия подземных вод нарушаются. Формируется новый тип запасов — эксплуатационные запасы. Под эксплуатационными запасами следует понимать количество подземных вод, которое может быть получено в единицу времени из водоносного горизонта рациональными в технико-экономическом отношении водозаборами без снижения дебита и ухудшения качества воды в течение всего расчетного срока водопотребления.

В районах действующих водозаборов уровень подземных вод снижается, образуются депрессионные воронки. В благоприятных гидрогеологических условиях это может вызвать привлечение в эксплуатируемый водоносный горизонт дополнительных источников питания. В этом случае эксплуатационные запасы по своей величине могут превышать естественные за счет дополнительных или привлекаемых запасов подземных вод.

Роль дополнительных (привлекаемых) запасов в общем балансе подземных вод водозаборов возрастает по мере увеличения депрессионной воронки.

В формировании эксплуатационных запасов существенную роль могут играть и искусственные запасы. Они создаются путем инфильтрации воды с поверхности земли при устройстве искусственных сооружений (инфильтрационные бассейны, оросительные системы, поглощающие скважины и т. п.).

Методы оценки эксплуатационных запасов. Оценить эксплуатационные запасы — это значит:

- определить дебит и понижение уровня подземных вод в период эксплуатации;
- рассчитать взаимодействие водозаборов;
- дать прогноз изменения качества подземных вод;
- обосновать наиболее рациональные в технико-экономическом отношении способы отбора воды.

Для оценки эксплуатационных запасов подземных вод в районах водозаборов используют гидродинамический, гидравлический и балансовый методы. При совместном применении указанных выше методов, а также при использовании моделирования точность подсчета эксплуатационных запасов значительно повышается.

При высокой степени обеспеченности восполнения эксплуатационных запасов допустима их оценка на основе опыта многолетней эксплуатации подземных вод на действующем водозаборе, находящемся в аналогичных условиях.

В основе классификации лежит степень изученности запасов и она содержит четыре категории: *A*, *B*, *C*₁ и *C*₂.

Категория *A* — запасы изучены и разведаны детально, полностью выяснены условия залегания и питания водоносных горизонтов, фильтрационные свойства пород, установлена связь с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами, а также возможность пополнения эксплуатационных запасов.

Категория *B* — запасы подземных вод изучены с детальностью, обеспечивающей выяснение основных условий залегания, питания и связи с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами.

Категория *C*₁ — запасы разведаны и изучены в общих чертах.

Категория C_2 — запасы установлены на основании общих геолого-гидрогеологических данных, подтвержденных опробованием водоносного горизонта в отдельных точках.

На базе утвержденных запасов по категориям *A* и *B* производится проектирование и выделение капитальных вложений на строительство водозаборов. Выявленные запасы по категориям C_1 и C_2 предназначены для перспективного планирования использования подземных вод.

Глава 18

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ РОССИИ

Подземные воды на территории России изучает *региональная гидрогеология*.

Зональность грунтовых вод — это закономерное изменение в горизонтальном направлении глубин залегания, количества и качества грунтовых вод в связи с зональностью климата и ландшафта. В европейской части России зоны с характерными природными условиями протягиваются в направлении с северо-запада на юго-восток, а в азиатской части — с севера на юг (со значительными отклонениями в зависимости от местных условий). В этих направлениях уменьшается количество атмосферных осадков, повышается сухость воздуха, а в связи с этим постепенно увеличивается глубина залегания грунтовых вод и их минерализация.

Кроме зональных вод существуют аazonальные воды, не связанные с горизонтальной климатической зональностью. К *азональным водам* относят грунтовые воды речных долин, трещинные и карстовые воды, воды солончаков, болот и орошаемых массивов.

Исходя из соотношения количества атмосферных осадков и испарения, а также условий оттока вод территорию России можно разделить на две основные зоны: грунтовые воды выщелачивания и грунтовые воды континентального засоления.

Грунтовые воды зоны выщелачивания формируются под влиянием растворения и интенсивного химического выноса вещества в процессе выветривания горных пород. Общая минерализация грунтовых вод выщелачивания колеблется от нескольких десятков мг/л на севере до 1000 мг/л и более на юге. Преимущественно это пресные гидрокарбонатно-кальциевые (в тундре — гидрокарбонатно-кремнеземные) воды. Распространены они в северных и центральных областях России (тундра, тайга, лесостепь), т. е. в районах избыточного увлажнения, с преобладанием подземного стока над испарением. Воды этого типа встречаются и в горных условиях,

там, где интенсивная трещиноватость скальных пород и рельеф способствуют подземному стоку вод и развитию процессов выщелачивания.

Грунтовые воды континентального засоления развиты на территории сухих степей и полупустынь. В этих районах испарение преобладает над осадками, благоприятные условия для развития подземного стока обычно отсутствуют. Грунтовые воды преимущественно солоноватые и соленые, по химическому составу — сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные. Засолению вод способствует широкое развитие на этих территориях засоленных морских осадков и засоленных почв.

Артезианские подземные воды на территории России связаны с крупными геологическими структурами и занимают большие площади. Наиболее крупные артезианские бассейны установлены в Западной Сибири, Якутии и т. д. В артезианских бассейнах сосредоточены огромные естественные запасы пресных, а также минеральных, промышленных и термальных вод, имеющих важное хозяйственное значение.

Выделяют артезианские бассейны в пределах платформ земной коры и горных районов. В пределах платформ расположены самые крупные артезианские бассейны, содержащие огромные естественные запасы подземных вод разной степени и характера минерализации. Для платформенных структур характерно мощное развитие осадочных отложений, залегающих на кристаллическом фундаменте. Артезианские бассейны горных областей менее крупные по площади, чем бассейны платформенных типов. Распространены они преимущественно в предгорьях и межгорных впадинах, а также вне горных районов в мелких синклинальных складчатых структурах. Водовмещающими породами в межгорных впадинах и предгорных районах являются коренные горные породы и мощная толща песчано-галечниковых накоплений. Породы эти водообильны. Несмотря на сравнительно небольшие размеры межгорных артезианских бассейнов (не более 80 тыс. км²), их отличает значительная глубина, поэтому запасы подземных вод велики, а роль в водоснабжении городов и населенных пунктов существенна.

Глава 19

ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Производственная и другая деятельность человека оказывают большое влияние на окружающую среду, в том числе на подземные воды. В связи с этим возникло новое направление в гидро-

геологии — *техногенная гидрогеология*. Важнейшими задачами в этом направлении является охрана подземных вод от истощения и загрязнения.

Под истощением запасов подземных вод следует понимать их сработку в процессе отбора вод без восполнения. Признаком истощения является прогрессирующее снижение динамических уровней эксплуатируемого водоносного горизонта, часто при постоянном расходе.

В отличие от обычных процессов формирования депрессионной воронки падение уровней при истощении запасов с течением времени не только не уменьшается, но нередко и увеличивается.

Причина истощения запасов подземных вод заключается в чрезмерном отборе подземных вод крупными водозаборами в условиях недостаточной обеспеченности питанием эксплуатируемого водоносного горизонта.

Под влиянием длительной эксплуатации водозаборов подземных вод вокруг них образуются огромные депрессионные воронки, так называемые районные депрессии, с наибольшим понижением в центре.

Истощению подземных вод способствует также неконтролируемый бесхозяйственный самоизлив артезианских вод из скважин, достигающий многих тысяч кубических метров в сутки.

Для борьбы с истощением пресных подземных вод при их эксплуатации предусматривают разнообразные меры, в том числе:

- регулирование режима водозабора подземных вод;
- более рациональное размещение водозаборов по площади;
- введение кранового режима эксплуатации самоизливающихся скважин.

В последние годы для предотвращения истощения подземных вод все чаще применяют искусственное пополнение их запасов. Этот метод, по мнению ученых, даже при интенсивном отборе подземных вод позволит более рационально осуществлять охрану окружающей среды.

Под *загрязнением* подземных вод понимают такие изменения их качества, которые приводят к превышению допустимых концентраций отдельных компонентов и общей минерализации воды, а иногда и изменение органолептических свойств питьевой воды: появление неприятного вкуса, запаха, цвета и т. п., и делают ее непригодной для использования.

Основными источниками загрязнения подземных вод являются бассейны бытовых и промышленных стоков, участки складирования отходов, загрязненные воды поверхностных водоемов, неисправная канализационная сеть, избыточное применение удобрений

и ядохимикатов, несанкционированная закачка стоков в водоносные горизонты.

К естественным источникам загрязнения относят сильно минерализованные подземные или морские воды, которые могут внедряться в продуктивный пресный водоносный горизонт при эксплуатации водозаборных сооружений.

Грунтовые воды и в особенности верховодка более всего подвержены загрязнению, так как они не защищены сверху толщей водоупорных пород от проникновения загрязняющих веществ. Артезианские воды загрязняются в значительно меньшей мере, преимущественно при сбросе сточных вод через систему поглощающих скважин.

При отсутствии водонепроницаемых покровных пород интенсивно загрязняются трещинные и карстовые воды. Очищающая способность трещиноватых и карстованных пород значительно хуже, чем пород с высокой сорбционной емкостью (суглинки и пр.), поэтому в них загрязненные растворы распространяются на большие расстояния.

Наиболее часто при эксплуатации сооружений водоснабжения и канализации встречаются химическое и бактериальное загрязнения подземных вод. Значительно реже наблюдается радиоактивное, механическое и тепловое загрязнения.

Химическое загрязнение — наиболее распространенное, стойкое и далеко распространяющееся. Оно может быть органическим (фенолы, нафтеновые кислоты, ядохимикаты и др.) и неорганическим (соли, кислоты, щелочи), токсичным (мышьяк, соли цинка, ртути, свинца и др.) и нетоксичным. Вредные химические вещества при фильтрации в пласте сорбируются частицами пород, окисляются и восстанавливаются, выпадают в осадок и т. д., однако, как правило, полного самоочищения загрязненных вод не происходит. Наибольшего распространения (до 10 км и более) очаг химического загрязнения достигает в сильно проницаемых грунтах и при значительных уклонах подземного потока, т. е. при хорошем оттоке подземных вод.

Бактериальное загрязнение выражается в появлении в подземных водах патогенных бактерий. Этот вид загрязнения носит временный характер. Его интенсивность зависит от величины начального загрязнения, водопроницаемости грунтов и времени выживания бактерий.

Весьма опасно содержание в подземных водах, даже при очень малых концентрациях, радиоактивных веществ, вызывающих *радиоактивное загрязнение*. Наиболее вредны «долгоживущие» радиоактивные элементы, обладающие повышенной способностью к передвижению в подземных водах (стронций-90,

уран, радий-226, цезий и др.). Радиоактивные элементы могут проникать в подземные воды как в результате их взаимодействия с радиоактивными горными породами, так и при выпадении на поверхности земли радиоактивных продуктов и отходов.

Механическое загрязнение характеризуется попаданием в подземные воды механических примесей, содержащихся в сточных водах (песок, шлак и др.), преимущественно по крупным трещинам и пустотам. Механические примеси могут значительно ухудшать органолептические показатели подземных вод.

Тепловое загрязнение связано с повышением температуры подземных вод в результате их смешивания с более нагретыми поверхностными или технологическими сточными водами, при их закачивании через поглощающие скважины.

Меры борьбы с загрязнением подземных вод. Для предотвращения загрязнения подземных вод разрабатывают инженерные мероприятия, включающие очистку сточных вод, создание безотходных производств, экранирование чаш бассейнов, перехват профильтровавшихся стоков дренажем и др.

При выборе мест заложения водозаборов последние должны располагаться выше по потоку подземных вод относительно возможных участков загрязнения. Водозаборы не следует размещать близко к реке или к морю во избежание подтока загрязненных речных или соленых морских вод. Не рекомендуется размещать водозаборы вблизи промышленных предприятий и сельскохозяйственных территорий со значительными утечками сточных вод. В частности, категорически запрещено устраивать водозаборы вблизи скотомогильников, свиноводческих ферм, птицефабрик и кладбищ.

Важнейшими мерами предупреждения загрязнения вод в районе водозаборов является устройство вокруг них зон санитарной охраны.

Зоны санитарной охраны, т. е. территории с особым режимом, исключающие возможность загрязнения и ухудшения качества подземных вод, устанавливают вокруг всех водозаборов, эксплуатирующих подземные воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения; состоят они из двух поясов, размеры их определяют специальным расчетом.

Мероприятия по предупреждению загрязнения подземных вод должны быть распространены на весь эксплуатируемый водоносный горизонт. Проекты зон санитарной охраны согласовываются с органами санитарного надзора и утверждаются соответствующими организациями, согласно действующей нормативно-правовой базе.

РАЗДЕЛ IV

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В этом разделе дается характеристика основным природным геологическим процессам, которые являются результатом геологической работы воды, льда, организмов, ветра, гравитации, рассмотрены также другие геологические процессы, которые принято называть инженерно-геологическими, так как они связаны в основном с инженерной деятельностью человека (просадочные явления под зданиями и сооружениями, сдвигание горных пород над подземными выработками и т. д.).

Инженерная геология изучает все геологические процессы (эрозию, абразию, оползни, карст, обвалы и т. д.), которые могут оказывать то или иное влияние на инженерные сооружения (на выбор конструкции и места расположения сооружения, выбор способов производства работ и т. д.) и, в свою очередь, как эти инженерные сооружения повлияют на существующую природную геологическую обстановку.

Классификация природных геологических процессов в сопоставлении с инженерно-геологическими приведена в табл. 33.

Таблица 33

Классификация процессов

Геологический процесс	Инженерно-геологический процесс (геоэкологический)
1. Уплотнение осадков в процессе диагенеза под действием веса позднейших отложений. Уплотнение пород под действием нагрузок от ледника и др.	1. Уплотнение пород в основании сооружений
2. Уплотнение лессов в процессе эпигенеза с образованием «степных блодец»	2. Просадочные явления в лессах вследствие утечек из водопроводов и фильтрации воды из каналов
3. Наледи, ледяные бутры, термокарст и т. п.	3. Мерзлотные деформации пород в основании сооружений и пучины на дорогах

Геологический процесс	Инженерно-геологический процесс (геозкологический)
4. Оползни, оплывины, обвалы, осыпи	4. Деформация искусственных откосов
5. Абразия по берегам морей и озер	5. Переработка берегов водохранилищ
6. Провалы над карстовыми пустотами	6. Сдвигение горных пород при подземных работах

При изучении геологических процессов первоочередное внимание следует уделять причинам их возникновения, развитию во времени, скорости этого развития, количественной оценке характеристик и последствий, выбору мероприятий, устраняющих их негативное влияние на строительство и надежную работу зданий и сооружений.

Г л а в а 20

ПРОЦЕСС ВЫВЕТРИВАНИЯ

Под процессом *выветривания* понимают разрушение и изменение состава горных пород и строительных материалов, происходящие под воздействием различных агентов, действующих на поверхности земли, среди которых основную роль играют колебания температур, замерзание воды, кислот, щелочей, углекислоты, действие ветра, организмов и т. д.

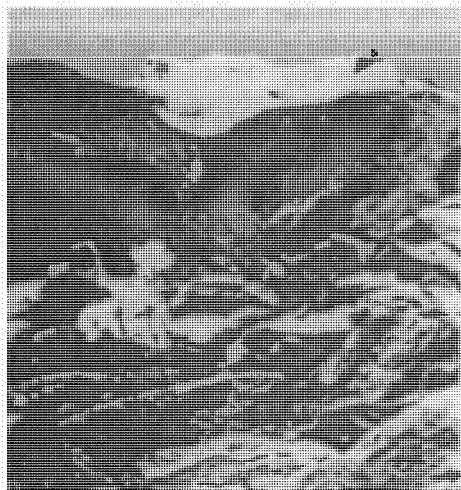
Главной особенностью процесса выветривания является постепенное и постоянное разрушение верхних слоев литосферы. В результате этого горные породы и материалы дробятся, изменяют свой химико-минеральный состав, вследствие чего снижаются параметры их строительных свойств или они полностью разрушаются.

Интенсивность проявления выветривания зависит от многих причин — активности агентов выветривания, состава пород, геологического строения местности и т. д. Наиболее сильно выветривание проявляется у поверхности земли, куда облегчен доступ агентам выветривания. Глубина проникновения в толщу земли агентов выветривания зависит от степени трещиноватости пород, раскрытия и глубины трещин. Наиболее глубоко они проникают при наличии тектонических трещин и разломов. Область активного современного выветривания достигает глубины 5—10 м. Проникновению агентов выветривания способствует инженерная деятельность человека (проходка тоннелей, шахт и т. д.).

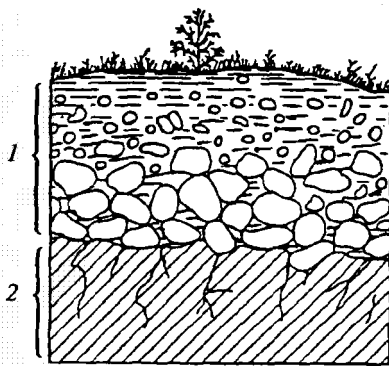
Интенсивность выветривания находится в зависимости от состава пород. Разрушению способствуют разнородность, крупнородность пород, качество природного цемента, например, песчаник с глинистым цементом разрушается значительно легче и быстрее, чем песчаник с кремнеземистым цементом.

Воздействие на земную поверхность, на толщи скальных горных пород процесса выветривания приводит к образованию коры выветривания, которая состоит из видоизмененных выветриванием горных пород или продуктов их разрушения (рис. 97). Продукты выветривания горных пород, остающиеся на месте их образования, носят название *элювия*. Вниз по разрезу всегда четко прослеживается, как элювий постепенно переходит в свою «материнскую» породу. По составу он представляет собой смесь обломков этой породы и глинистого материала. Нескальные породы, залегающие на дневной поверхности, также имеют кору выветривания, но она в большинстве случаев не имеет четкой зональности. Верхняя часть коры обычно бывает представлена песчано-пылевато-глинистой массой, а нижняя — обломочным материалом. В карбонатных грунтах, например известняках, зональность коры выветривания проявляется более четко.

Виды выветривания. Процесс выветривания протекает при одновременном участии многих агентов, но роль их при этом дале-



a



б

Р и с. 97. Выветривание грунтовых горных пород:

a — нагромождение материала выветривания; *б* — схема выветривания; 1 — кора выветривания; 2 — коренная порода (порода, не затронутая выветриванием)

ко неодинакова. По интенсивности воздействия тех или иных агентов выветривания и характеру изменений горных пород принято выделять три вида выветривания: физическое, химическое и биологическое (органическое).

Физическое выветривание выражается преимущественно в механическом дроблении пород без существенного изменения их минерального состава. Породы дробятся в результате колебания температур, замерзания воды, механической силы ветра и ударов песчинок, переносимых ветром, кристаллизации солей в капиллярах, давления, которые возникают в процессе роста корней растений, и т. д.

Большую роль в этом разрушении играют температурные явления. В условиях земной поверхности, особенно в пустынях, суточные колебания температур довольно значительны. Так, летом в дневное время породы нагреваются до $+80^{\circ}\text{C}$, а ночью их температура снижается до $+20^{\circ}\text{C}$. Кроме попеременного нагревания и охлаждения разрушительное действие оказывает также неравномерное нагревание пород, что связано с различными тепловыми свойствами, окраской и размером минералов, которые составляют горные породы. На контактах отдельных минералов образуются микротрещины и порода постепенно распадается на отдельные блоки и обломки различной формы.

Особенно подвержены температурному выветриванию крупнозернистые полиминеральные породы. Это объясняется тем, что минералы имеют различные коэффициенты линейного и объемного расширения и при нагревании на контактах между зернами создаются большие напряжения различной направленности, которые приводят к разрушению менее прочных минералов. При колебаниях температур в этих породах происходит разрушение кристаллизационных связей между зернами.

Разрушение пород еще более усиливается, если в их микротрещины проникает вода, которая при замерзании увеличивается в объеме на 9—11 % и развивает значительное боковое давление; трещины расширяются и углубляются. Это явление носит название *морозного выветривания*.

Многие породы разрушаются при переменном *намокании* и *высушивании*. Примером могут служить мергели-трескуны из района Новороссийска. Эти мергели на поверхности земли быстро превращаются из массивной породы в скопление мелких обломков.

Значительное разрушительное действие оказывает *ветер* своей механической силой и ударным действием песчинок и более крупных обломков.

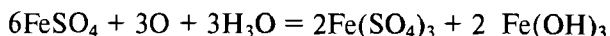
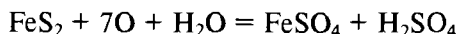
Физическое выветривание воздействует и на искусственные строительные материалы. Особенно интенсивно выветриваются наружные части зданий и сооружений.

Физическое выветривание преобладает в местностях с сухим резко континентальным (пустыни) или холодным климатом (горные районы, арктический пояс). Типичным примером являются пустыни и северные территории нашей страны (см. рис. 73, а).

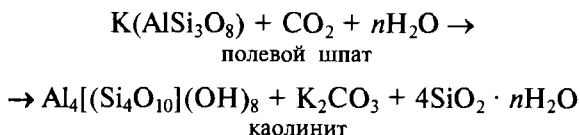
Химическое выветривание выражается в разрушении горных пород путем растворения и изменения их состава. Наиболее активными химическими реагентами в этом процессе являются вода, кислород, углекислота и органические кислоты.

В породах кроме растворения протекают реакции обмена, замещения, окисления; гидратация и дегидратация. Одновременно с разрушением первичных минералов, например полевых шпатов, в граните образуются новые, вторичные минералы. Так образуются многие растворимые (хлориды, карбонаты, сульфаты) и нерастворимые минералы типа глинистых образований (гидрослюда, монтмориллонит, каолинит и др.).

Простейшим видом химического выветривания является *растворение в воде*. Легко растворяются каменная соль, гипс. Разрушительное действие оказывает процесс *гидратации*. Примером может служить переход ангидрита в гипс $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Этот процесс сопровождается резким увеличением объема (до 50—60 %), что вызывает разрушительное давление гипса на окружающие породы. В присутствии воды происходит также окисление. Например, минерал пирит, который часто присутствует в различных породах, превращается в гидрат оксида железа с одновременным образованием серной кислоты, которая, в свою очередь, весьма разрушительно действует на многие минералы:



При химическом выветривании значительное воздействие на породы оказывает вода, содержащая в своем составе углекислоту. В результате этого полевые шпаты превращаются во вторичные образования глинистого состава:



Интенсивность химического выветривания зависит от площади воздействия воды и растворов, их температуры, а также степени устойчивости минералов в отношении агентов выветрива-

ния. Наиболее устойчивыми являются минералы кварц, мусковит, корунд; менее устойчивы — кальцит, доломит и др. Интенсивности химического выветривания способствует дробление пород в результате механического выветривания.

Наибольшее значение химическое выветривание имеет в условиях теплого и влажного климата.

Биологическое (органическое) выветривание проявляется в разрушении горных пород в процессе жизнедеятельности живых организмов и растений (рис. 98). Породы дробятся и в значительной мере подвергаются воздействию органических кислот.

Механическое разрушение производят растения своей корневой системой. Корни деревьев способны расщеплять даже прочные скальные породы. Известны случаи, когда растение «верблюжья колючка» проросло сквозь 20-сантиметровые железобетонные плиты. Корни травянистой растительности легко преодолевают слой асфальта на улицах города.

Многие живые организмы, особенно из числа землероев, активно разрушают горные породы. В коре выветривания они создают многочисленные ходы, пустоты, просверливают даже твердые породы. На выветривание горных пород большое влияние оказывают многочисленные бактерии. В процессе своей жизнедеятельности они поглощают одни вещества и выделяют другие. Их воздействие особенно сильно сказывается в зоне почв и на границе с подстилающими грунтами. Отдельные виды бактерий извлекают углерод из карбонатов, разрушают силикаты, создают скопление железных руд и т. д.



Р и с. 98. Разрушение асфальтового покрытия в результате роста грибов

Растения и животные, особенно микроорганизмы (бактерии, микробы и др.) и низшие растения (водоросли, мхи, лишайники), выделяют различные кислоты и соли, которые, в свою очередь, весьма активно взаимодействуют с минералами горных пород, разрушают их, формируют минеральные новообразования.

Действие биологического выветривания повсеместно. Ему принадлежит ведущая роль в образовании почв.

Процессы выветривания влияют на инженерно-геологические свойства горных пород. Выветривание как геологический процесс приводит к разрушению и преобразованию первичных пород. С инженерно-геологической точки зрения основная направленность процесса выветривания состоит в изменении физического состояния и физико-механических свойств горных пород, что приводит к снижению устойчивости пород в основании сооружений, естественных и искусственных откосах, подземных выработках и т. д.

Физико-механические свойства коры выветривания зависят от степени выветрелости исходной породы, ее петрографо-минерального состава и структуры. Глубинные магматические породы, разрушаясь на поверхности земли, быстро теряют свою прочность и превращаются в так называемые *рухляки*, обладающие меньшей несущей способностью и большей деформативностью по сравнению даже с трещиноватой скалой. Рухляки кислых и средних магматических пород состоят в основном из кварца, одного из самых устойчивых минералов к процессам выветривания; рухляки основных и ультраосновных пород сложены из полевых шпатов — неустойчивых минералов, в коре выветривания превращающихся в глинистые продукты. Механические свойства этих рухляков ниже, чем рухляков кислых и средних пород.

При дальнейшем разрушении магматических пород образуются крупнообломочные элювиальные грунты, прочность и сжимаемость которых зависит от заполнителя и механической прочности самих обломков, т. е. от степени их выветрелости.

Крупнообломочные грунты элювия кислых пород, имея в качестве заполнителя песок, состоящий в основном из кварца и прочных обломков, обладают большей механической прочностью, чем подобные грунты коры выветривания основных и ультраосновных пород.

Характерной особенностью элювиальных глин является набухание, представляющее собой увеличение объема породы при увлажнении, и усадка — уменьшение объема при высыхании. Эти процессы значительно ухудшают условия эксплуатации зданий и сооружений.

Элювий метаморфических пород по своим физико-механическим показателям близок к коре выветривания основных и ультраосновных магматических пород.

Кора выветривания осадочных пород отличается своим своеобразием. Наибольшему разрушению подвергаются осадочные породы, образовавшиеся в условиях, отличных от тех, в которых действуют факторы выветривания. Породы химического и органического происхождения большей частью полностью растворяются в воде или быстро дробятся до частиц песчаных и глинистых размеров. В цементированных породах в первую очередь разрушается природный цемент, песчаник снова превращается в песок, конгломерат — в гальку и гравий с песчаным или глинистым заполнителем (в зависимости от цемента).

Особый интерес представляет поведение глин в зоне выветривания. При выветривании глинистых пород происходит:

- раскрытие существующих и образование новых трещин;
- разрыхление, сопровождающееся возрастанием пористости;
- появление новых минералов.

Эти процессы резко ухудшают физико-механические свойства глинистых пород, у них снижается сопротивление сдвигу и повышается сжимаемость.

Степень выветрелости пород и строительных материалов оценивается *коэффициентом выветрелости* k_w — отношением плотности выветрелой к плотности невыветрелой породы (материала). Если $k_w = 1$ — порода выветрелая, при $k_w = 1...0,9$ — слабовыветрелая, $0,9...0,8$ — выветрелая и $k_w < 0,8$ — сильно выветрелая (рухляки).

В связи с вышесказанным видно, что процессы выветривания могут настолько изменить свойства пород и инженерно-геологические условия строительной площадки, что строить здания и сооружения без специальных мероприятий не представляется возможным.

Борьба с процессом выветривания. При выборе основания для зданий и сооружений кору выветривания прорезают фундаментом до невыветрелой породы, либо используют ее как несущее основание, если элювий имеет достаточную прочность или укреплен после соответствующей обработки способами технической мелиорации. Крутизну откосов выемок назначают с учетом прочности пород коры выветривания.

Процесс выветривания необходимо учитывать также на период эксплуатации зданий и сооружений. Порода и строительные материалы, не защищенные от агентов выветривания, постепенно будут разрушаться, снижая устойчивость и прочность зданий и сооружений.

Для предотвращения выветривания или улучшения свойств уже выветрелых пород применяют различные мероприятия:

- покрытие горных пород непроницаемыми для агентов выветривания материалами;
- пропитывание пород различными веществами;
- нейтрализацию агентов выветривания;
- планировку территорий и отвод вод.

Выбор мероприятий по борьбе с выветриванием зависит от степени выветрелости пород, характера выветрелости, конструктивных особенностей сооружения и т. д.

Создание защитных покрытий на поверхности горных пород с помощью различных материалов — гудрона, бетона, цементного раствора, глины — зависит от преобладающих факторов выветривания.

Например, гудрон, цемент, геосинтетики и другие искусственные покрытия предохраняют породы от проникновения воды, но не защищают от влияния колебания температур. Хорошим изолирующим материалом является глина. Уложенная слоем, мощность которого равна глубине проникновения суточных колебаний температур, она становится хорошим водонепроницаемым покрытием, а сама мало изменяется под воздействием выветривания. Широко применяют гидроизоляцию котлованов, если они должны находиться в открытом состоянии какое-то время. В ряде случаев дно котлованов специально не доводят до проектной отметки. Выветрившийся слой снимают непосредственно перед началом укладки фундамента.

Пропитывать породы можно жидким стеклом, гудроном, цементом. Жидкое стекло используют для укрепления песчаных и песчано-глинистых пород. Гудрон дает лучшие результаты в щебенистых отложениях. Цементом можно хорошо скреплять трещины в скальных породах. Пески можно пропитывать глинистой суспензией, что приводит к снижению водопроницаемости.

Нейтрализацию агентов выветривания из-за практических неудобств и дороговизны применяют сравнительно редко. Таким методом, например, является насыщение фильтрующейся воды солями, которые она может растворять в данной породе. Такая вода уже теряет способность растворять такие соли. Действие подземных вод можно нейтрализовать дренажами. Поверхностные воды отводят различного рода ливневыми стоками, нагорными канавами.

Строительные материалы и изделия необходимо изолировать от влияния агентов выветривания различными покрытиями — красками, лаками, штукатуркой, жидким стеклом, органическими пленками и т. д. В строительстве следует использовать породы наиболее устойчивые к выветриванию.

Глава 21

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВЕТРА

На земной поверхности постоянно дуют ветры. Скорость, сила и направление ветров бывают различны. Нередко они носят ураганный характер. Так, у Новороссийска на Мархотском перевале были зарегистрированы во время бури норд-оста скорости ветра, превышающие 50—60 м/с. Известны случаи, когда ураганные ветры достигали скорости свыше 60—70 м/с. Чтобы представить себе последствия таких ураганов, достаточно сказать, что уже при 16—18 м/с ветер может сорвать кирпичи с дымовых труб, черепицу с крыш, а при 19—21 м/с вырвать с корнями деревья.

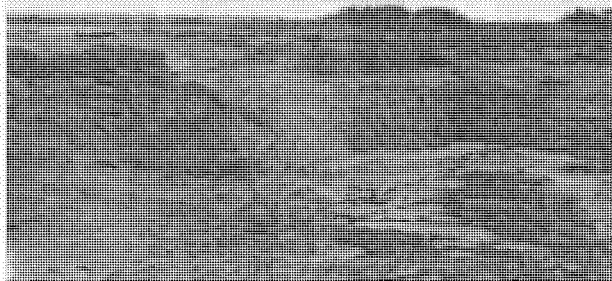
Ветер совершает большую геологическую работу: разрушение земной поверхности (*выдувание*, или *дефляция*, *обтачивание*, или *коррозия*), перенос продуктов разрушения и отложение (*аккумуляция*) этих продуктов в виде скоплений различной формы.

Все эти процессы носят общее название *эоловых*. Наиболее ярко эоловые процессы проявляются в пределах пустынь, полупустынь, долин рек и морских побережий. В наши дни наглядное представление об этих процессах дают пыльные бури в степных районах. Примером могут служить пыльные бури на Северном Кавказе, в Ростовской области и соседних территориях. В отдельные дни пыль закрывала небосвод, повисала в воздухе желто-серыми тучами. В г. Ростове-на-Дону в дневные часы стоял полумрак. Пыль в ряде случаев полностью засыпала оросительные каналы, на дорогах образовывались заносы из пыли со снегом высотой 3—4 м. Многие лесные полосы превращались в холмы из пыли и снега.

Выдувание (дефляция) возникает в результате воздействия механической силы ветра. Наиболее ярко этот процесс проявляется в районах, сложенных рыхлыми или мягкими породами. От пород отрываются и уносятся частицы. Ветер выдувает котловины, борозды и траншеи в солончаках, суглинках, песках. Котловины выдувания могут иметь значительные размеры (рис. 99), например, длину до 140 км, ширину от 2 до 10 км, глубину 100—150 м.

Весьма интенсивно выдуваются почвенные слои в пределах пахотного слоя. Замечено, что выдувание значительно усиливается после нарушения дернового покрова, вырубки кустарников и деревьев.

Механическая сила ветра существенно влияет на здания и сооружения, которые являются для него препятствием. Создается так называемая *ветровая нагрузка*, что выражается в дополнительном



Р и с. 99. Котловина выдувания ветром

боковом давлении на строительные конструкции. Высотные здания и особенно заводские дымовые трубы под действием ветровой нагрузки постоянно колеблются, создавая вибрацию конструкций.

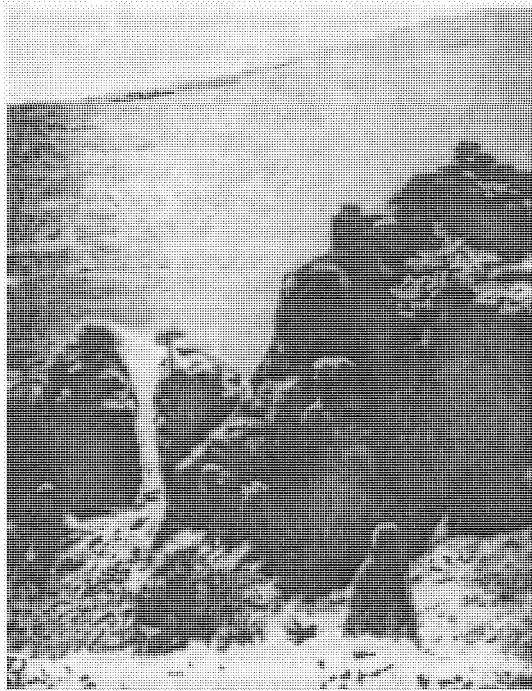
Коррозия. Движение ветра часто сопровождается переносом пыли, песка и даже гравия. Наибольшую разрушительную работу совершают песчаные частицы. Ударяясь о твердые породы, они перетирают, сверлят и обтачивают их поверхность. Появляются борозды, желоба, углубления. Этот процесс обтачивания получил название *корразии*.

За счет корразии в районах пустынь быстро приходят в негодность телеграфные столбы, провода, разрушаются фасады зданий. Коррозия воздействием на поверхность зданий подобна работе пескоструйного аппарата, применяемого в строительном деле.

Совместные действия дефляции и корразии разрушают не только мягкие, но и твердые породы, превращая их в обломки различного размера. Одновременно эти процессы порождают многие формы рельефа. Кроме отрицательных форм, образующихся за счет дефляции, эти процессы формируют причудливые формы положительного рельефа. В этом отношении особенно характерны различные *останцы* в виде столбов, грибообразных форм, качающихся камней и т. д. (рис. 100). Останцы образуются в пустынных областях, сложенных слоями твердых пород, имеющих различную сопротивляемость истиранию.

Эоловые отложения. Перенос частиц ветром совершается во взвешенном состоянии или путем перекачивания в зависимости от скорости ветра и размера частиц.

Во взвешенном состоянии переносятся глинистые, пылеватые и тонкопесчаные частицы. В зависимости от скорости ветер уносит их на сотни и даже тысячи километров. Песчаные частицы переносятся в основном перекачиванием по земле, иногда они перемещаются на небольшой высоте.



Р и с. 100. Останцы скальных пород

При меньшей скорости ветра и других благоприятных условиях происходит отложение переносимого материала (*аккумуляция*). Так образуются *ветровые (эоловые) отложения*. Современные эоловые отложения на картах обозначают eoQ_{IV} . В большинстве случаев это накопления песка и пыли. Для строительства большое значение имеет закреплённость песков. По этому признаку песчаные накопления делят на *подвижные* (дюны, барханы) и *закрепленные* (грядовые, бугристые) пески. Подвижные пески не закреплены корневой системой растений и под действием ветра легко перемещаются.

Дюны образуются по берегам рек и морей в результате навевания песка ветром возле какого-нибудь препятствия (кустарников, неровностей рельефа, зданий и т. д.). Это холмовидные накопления песка высотой до 20—40 м и более. Характерной особенностью дюн является движение за счет перекачивания песчинок ветром с одной стороны холма на другую. Скорость движения дюн определяется силой господствующих в данной местности ветров и колеблется от 0,5—1 до 20—22 м в год. Дюны обычно образуют цепь холмов.

На Куршской косе (Литва) располагается самая высокая в Европе дюна до 280 м высотой и протяженностью до 3 — 4 км от Балтийского моря до Куршского залива.

Барханы возникают в пустынях, где постоянно дуют сильные ветры преимущественно одного направления. Это песчаные холмы серповидной формы. Поперечный профиль барханов асимметричен, наветренный склон пологий, его угол откоса не превышает 12° ; подветренная сторона более крутая — угол откоса достигает $30\text{--}40^\circ$. Крутой склон всегда приурочен к волнutoй, а пологий — к выпуклой стороне (рис. 101). Высота барханов в пустынях достигает 60—70 м при ширине крыльев в десятки и даже сотни метров. В пустыне Сахаре барханы имеют высоту до 200 м.

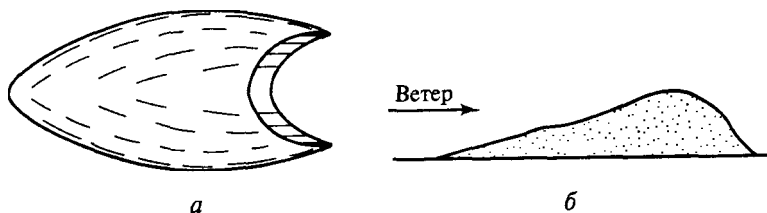
Барханы сложены весьма подвижным песком. Скорость их передвижения зависит от силы ветра, длительности его действия и величины бархана. Наиболее подвижны отдельно стоящие барханы. Они могут перемещаться со скоростью от 5—6 до 10—70 м/год. Известны случаи, когда скорость движения небольших барханов составляла несколько метров в сутки.

Подвижные пески опасны именно своим движением. Перемещаясь, они заносят поля, оазисы, каналы, дороги (рис. 102), здания, селения и даже города, например на побережье Франции, где под песками погребены деревни и города.

Подвижные пески часто появляются вследствие уничтожения травянистого покрова при выпасе скота. Оживлению перемещения песков способствует движение транспорта и работа землеройных машин.

Строительство и эксплуатация зданий и сооружений требует постоянной борьбы с подвижными песками. Для этой цели используют следующие методы:

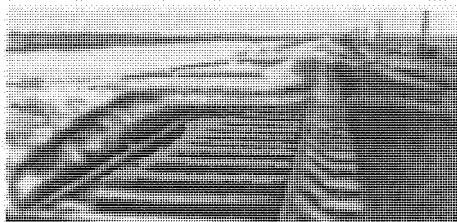
- установку на пути движения песков деревянных щитов подобно тем, которые ставят зимой против снежных заносов; этот метод не всегда эффективен в районах, где ветер часто меняет свое направление; против выдувания песка щиты можно укладывать на землю;



Р и с. 101. Бархан:

а — план; *б* — продольный разрез

**Рис. 102. Железная дорога
в пустынной области, засыпанная
подвижными песками**



- посадку растительности, прививающейся на песках (кустарники, травы) и закрепляющей своей корневой системой верхние слои песка;

- обработку песков различными растворами и веществами — битумом, цементом, жидким стеклом, глинистыми суспензиями и т. д.; эти методы дорогостоящие, к тому же защитные корки оказываются недолговечными и сравнительно легко разрушаются при скорости ветра более 20 м/с;

- применение геосинтетических материалов (сеток, пленок, ячеистых каркасов и т. п.);

- проектирование «безаккумуляционных» форм сооружений, которые облегчают пропуск движущегося песка, не давая ему возможности накапливаться в пределах сооружения (например, на дорогах).

Закрепленные пески распространены достаточно широко, особенно в районах полупустынь. *Грядовые пески* представляют собой вытянутые формы высотой 10—20 м; *бугристые пески* — неподвижные холмы (редко высотой более 10 м) с пологими склонами. Их движение остановлено растительным покровом.

Пылеватые накопления встречаются обычно за пределами пустынь. Такие накопления древнего возраста приняли участие в формировании лессовых образований, широко распространенных на земной поверхности.

Глава 22

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

На поверхность материков постоянно выпадают атмосферные осадки в виде дождей, снега и льда в количестве до 112 тыс. км³ в год. Наибольшую геологическую работу при этом совершает текучая вода, которая, растекаясь по поверхности в сторону падения рельефа, разрушает горные породы, переносит и откладывает

продукты разрушения. Разрушительная работа текучих вод носит название *эрозии*.

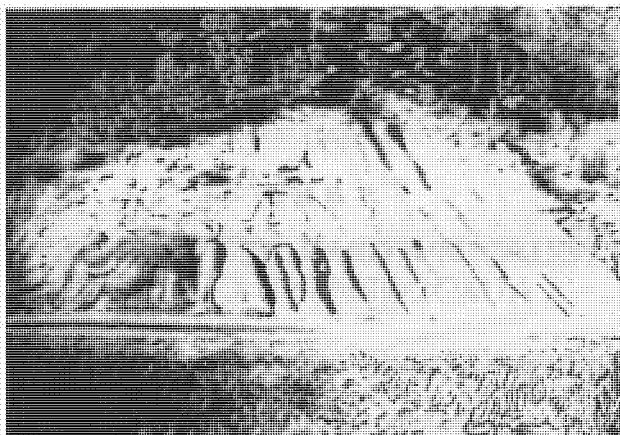
После дождя (или таяния снега) вода растекается по поверхности земли в виде многочисленных микроструек, каждая из которых не имеет фиксированного пути. Образуется сплошной поверхностный поток и разрушительное действие воды осуществляется на всей поверхности земли. Так происходит *плоскостной смыв* (*плоскостная эрозия*), который ведет к выполаживанию местности.

Плоскостные потоки губительно сказываются на почвах, смывая их верхний плодородный слой. Одним из способов борьбы с почвенной эрозией являются лесополосы, регулирующие поверхностный сток.

Плоскостной поток в соответствии с рельефом местности постепенно разбивается на отдельные струи, создаются крупные потоки (ручьи), осуществляющие *струйчатую эрозию* (рис. 103). Это ведет к образованию промоин, оврагов и т. д.

Образование наносов. Продукты выветривания пород (*элювий*) плоскостными потоками смываются с возвышенностей на склоны и к их подножию. В зависимости от силы потоков и крутизны склонов в перемещении принимают участие частицы глинистые, пылеватые, песчаные и даже более крупные обломки.

Со временем на склонах и в пониженных частях рельефа накапливаются отложения наносов: на склонах и у их подношья — *делювий*, в понижениях, примыкающих к склонам, — *пролювий* (рис. 104). Эти наносы почти сплошным покровом закрывают лежащие под ними более древние (коренные) породы.



Р и с. 103. Результаты струйчатой эрозии на склоне

Делювий (dQ) покрывает все склоны и их подошвы, за исключением обрывистых участков. По своему составу делювий разнообразен и в противоположность элювию отличается от подстилающих его коренных пород. В минералогическом отношении делювий связан с породами, расположенными выше по склону.

По литологическому составу делювий в горных и предгорных районах — это, главным образом, суглинки, супеси, пески с включениями щебня и более крупных обломков. На равнинах более широко распространены суглинки, супеси, реже глины. Особенно большое развитие имеют делювиальные суглинки в лессовых районах.

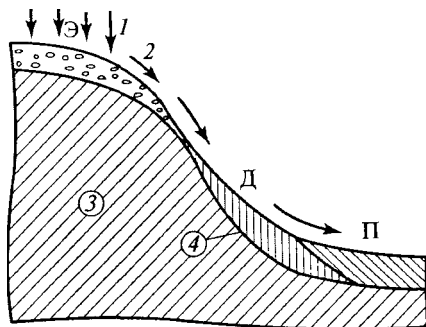
Делювиальные отложения в большинстве случаев представляют собой несортированный материал. Небольшую сортированность имеют делювиальные лессовидные суглинки. Мощность делювия возрастает к основанию склонов, достигая в горных районах иногда нескольких десятков метров, а на равнинах — нескольких метров.

Делювиальные отложения часто служат основанием для зданий и сооружений. Общим для них отрицательным свойством является способность к движению в виде сползания вниз по склонам. Интенсивность сползания зависит от крутизны склонов и состава наносов. Наиболее легко поддается сползанию глинистый делювий особенно при значительном увлажнении. Несортированность делювия обуславливает пестроту свойств даже в пределах небольших участков. Плотность делювиального наноса зависит от материала, времени его отложения и климатических условий территории. Например, делювиальные суглинки севера всегда плотнее делювиальных суглинков южных районов.

Пролувий (pQ) представляет собой рыхлые образования неоднородного состава, особенно по вертикали. В толщах пролувия суглинки и супеси могут переслаиваться с более крупнозерни-

Р и с. 104. Схема образования наносов на склоне рельефа:

Э — элювий; Д — делювий; П — пролувий;
1 — атмосферные осадки; 2 — плоскостной смыв; 3 — коренные породы; 4 — первоначальная поверхность



стым материалом (песок и др.). В степных и предгорных районах суглинки и супеси по своим характерным признакам похожи на лессовые отложения.

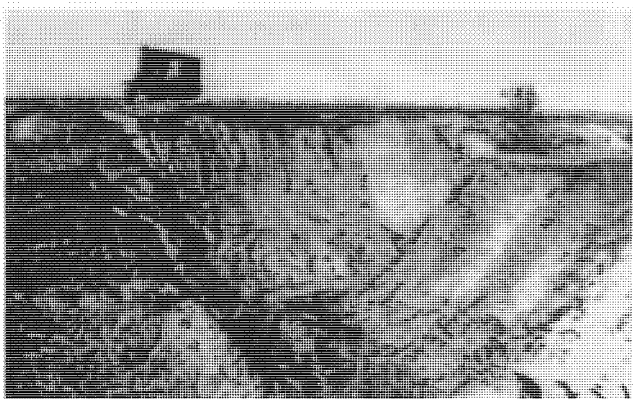
Пролувий в виде отложений *конусов выноса* горных рек в больших количествах накапливается у подножья гор, частично содержит делювиальный материал. Конусы выноса пролувия нередко сливаются и образуют единую полосу наносов, окаймляющую подошву гор (предгорные шлейфы). Значительное количество пролувия образуется за счет временных *гряжекаменных потоков (селей)*.

Образование оврагов. При таянии снега и дождя на склонах рельефа отдельные струйки образуют временные ручьи. Возникает струйчатая эрозия, что приводит к образованию вытянутых понижений рельефа — *оврагов* (рис. 105).

Наиболее интенсивно возникают овраги в условиях расчлененного рельефа и сухого климата, при котором атмосферные осадки выпадают редко, но в виде коротких и сильных ливней. Развитию оврагов способствует отсутствие растительного покрова и наличие пород, способных к размыву. Наиболее легко размываются лессовые породы, поэтому в районах их распространения овраги имеют широкое развитие.

Овраг может вскрыть грунтовую воду. В этом случае возникает постоянный водоток, который, в свою очередь, усиливает рост оврага. Способствуют развитию оврагов устройство неукрепленных канав на склоне, нарушение дернового покрова и вырубка растительности (рис. 106, а).

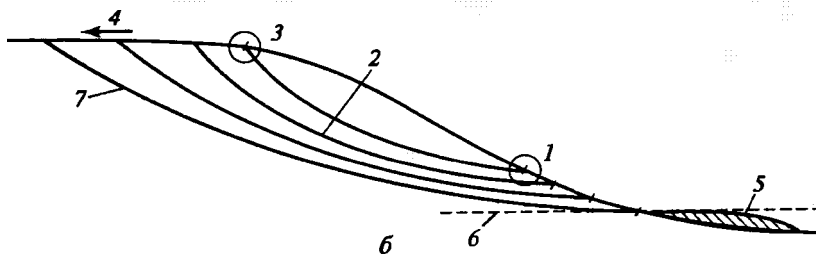
В овраге различают *устье, ложе и вершину* (рис. 106, б). Овраг растет вершиной вверх по склону. Одновременно происходит и его углубление и расширение за счет размыва склонов оврага.



Р и с. 105. Овраг в лессовых породах



a



Р и с. 106. Овраг:

a — начало образования; *б* — продольный профиль; 1 — устье; 2 — ложе; 3 — вершина; 4 — направление роста оврага; 5 — конус выноса; 6 — базис эрозии; 7 — максимальная глубина оврага

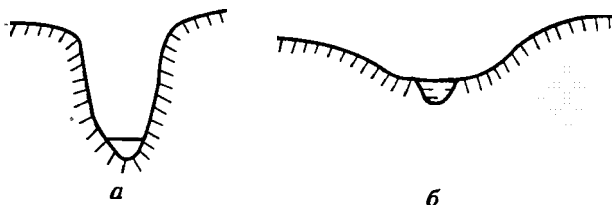


Рис. 107. Поперечное сечение оврага:

a — активный овраг; *б* — балка

Предельной отметкой, до которой возможен размыв ложа оврага, является уровень бассейна: озеро, река и т. д., в который впадает водоток оврага. Этот уровень называют *базисом эрозии*.

В начале своего развития овраг имеет сравнительно небольшую ширину при большой глубине, с обрывистыми бортами и без растительности — это *активный овраг* (рис. 107). При достижении оврагом максимальной глубины рост оврага прекращается, склоны приобретают устойчивый естественный откос, задерновываются. Ширина оврагов уже превышает глубину. Такой овраг не развивается и носит название *балки*.

Дальнейшая жизнь оврага зависит от положения базиса эрозии. Если базис будет понижаться, например, вследствие падения уровня реки, то овраг получит возможность к дальнейшему развитию, что следует учитывать при оценке оврагов.

Размывающая деятельность овражных водотоков приводит к накоплению наноса — *овражного аллювия*, который накапливается в районе устья оврага в виде конуса выноса.

Размеры оврагов и балок самые различные. Длина их колеблется от десятков метров до многих километров. Глубина от 1—2 до 30—40 м. Скорость роста оврагов зависит от активности водотоков и характера размываемых пород и колеблется от 0,5—1 до 40 м в год.

Овраги имеют большое распространение, особенно в районах лессовых отложений. Они наносят значительный ущерб хозяйственной деятельности, сокращают полезные площади, разрушают дорожные сооружения.

Предотвратить появление оврагов можно проведением ряда профилактических мероприятий. Следует запрещать распахивать склоны и устраивать необлицованные канавы, ориентированные вниз по склону, вырубать на склонах растительность и нарушать дерновый покров.

Мелиоративные мероприятия на землях, подверженных овражной эрозии, включают:

- планировку приовражных и прибалочных склонов с мелкобугристыми оползнями и другими неровностями, засыпку мелких оврагов глубиной 1,5—2 м и их залужение;
- выполяживание оврагов с устройством гидротехнических сооружений, предотвращающих новые размывы (лотков, быстроток, перепадов);
- устройство распылителей стока и противоэрозионных гидротехнических сооружений (водозадерживающих и водоотводящих валов, нагорных канав, дамб-перемычек, донных запруд и полузапруд и др.) на вышележащем перед оврагом склоне (рис. 108);

Р и с. 108. Поперечная опорная стена для борьбы с овражной эрозией



- подсыпку откосов на склонах оврагов с целью повышения их устойчивости и подготовку к залесению (прилегающих участков к залужению);
- создание противоовражных (прибалочных) лесных полос и насаждений на отсыпанных откосах оврагов;
- выращивание береговых и донных насаждений на гидрографической сети (ложбинах, лощинах, балках), залужение пологих берегов и донных участков балок;
- строительство на базе оврагов и балок водоемов, дорожной сети, организацию рекреационных зон.

Противоэрозионную мелиорацию и планировку оврагов выполняют весной, затем выполаживают склоны оврагов у балок, сооружают водозадерживающие и водораспределяющие валы, нагорные каналы (канавы), быстотоки, перепады, руслоукрепляющие устройства. До сезона ливневых дождей проводят лугомелиоративные мероприятия, а осенью — лесопосадки.

Селевые потоки. *Сель* (или *силь*) по-арабски означает горный, быстро несущийся поток. Действительно, сели представляют собой временные, но бурные грязекаменные потоки, возникающие в горных районах.

Это грозное явление природы часто имеет катастрофический характер (рис. 109). В 1910 г. пострадал от селя г. Верный (Алма-Ата); сель обрушился на город в результате прорыва горного озера во время землетрясения. Сильное землетрясение в мае 1970 г. в Перу явилось причиной нескольких гляциальных селей, которые уничтожили поселок Репарика. Прорыв из горных озер без сейсмического воздействия также чреват селом, что, например, произошло 15 июля 1973 г. при прорыве моренного озера Туюксу в верховьях р. Малая Алмаатинка. Это был 15-метровый вал со скоростью 15 м/с, с максимальным расходом воды 5200 м³/с, перено-



Р и с. 109. Последствия прохождения селевого потока по территории города

сивший пятиметровые валуны массой до 300 т. Общий объем селевой массы составил 5,5 млн м³. Иногда возникают ледниковые сели, как, например, в августе 1832 г. в долине р. Кобахи у подножья Казбека (Кавказ), возникший сель вынес в Дарьяльское ущелье огромную массу льда, снега и камней, образовав в р. Терек завал длиной 2 км и объемом 16 млн м³, при этом за счет завала на два года была закрыта Военно-Грузинская дорога.

Сели вызываются дождевыми ливнями или быстрым таянием снегов и ледников в горах. Огромная масса воды устремляется вниз по ущельям, смывая и захватывая по дороге элювий и делювий. В результате водный поток превращается в грязекаменный.

Большое разрушительное воздействие селевых потоков обусловлено большими скоростями движения и наличием в них обломков горных пород. Средняя скорость движения селевых потоков колеблется от 2 до 4 и даже 6—8 м/с. На своем пути сели часто прокладывают глубокие русла, которые в обычное время бывают сухими или содержат небольшие ручьи. Твердый материал селей откладывается в предгорьях. Полезные площади оказываются погребенными под толщей грязи, песка и камней.

Селевые потоки подразделяют на *связные* и *несвязные*. К связным относят *грязекаменные потоки*, в которых вода практически не отделяется от твердой части. Они обладают огромной разрушительной силой. Несвязные сели иначе называют *водокаменны-*

ми. Вода переносит обломочный материал и по мере уменьшения скорости откладывает в русле или в области конуса выноса.

Селевые потоки обычны для гор Алтая, Кавказа, Урала и т. д. При инженерно-геологических изысканиях для строительства объектов необходимо выявлять районы, где возможно появление селей. В селевом бассейне выделяют следующие зоны:

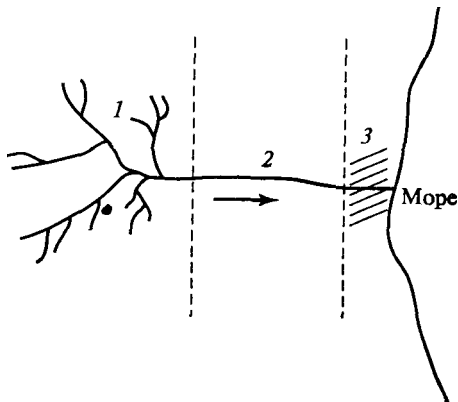
- площадь водосбора (область питания);
- возможный путь движения (канал стока);
- область, где происходит отложение каменного материала с образованием конуса выноса (рис. 110).

При определении селеопасных направлений следует учитывать возможность появления селей в районах, где они раньше не возникали. Чаще всего это связано с вырубкой горных лесов. Начиная с XIX в. и особенно в XX в. количество таких районов значительно возросло.

Каждое селеопасное направление изучается. Определяют количественные показатели селевых потоков — скорость движения, плотность массы и ударную силу. Плотность показывает насыщенность селя данного участка твердым материалом, а ударная сила дает представление о количестве воды и твердого материала, проходящих каждую секунду через данное сечение русла.

Борьбу с селями проводят по нескольким направлениям:

- организационно-хозяйственные мероприятия: прогнозирование селей, оповещение населения об опасности; недопущение в пределах селеопасных русел строительства дорог, зданий, водозаборов;



Р и с. 110. Зоны селевого бассейна:

1 — площадь водосбора; 2 — канал стока воды; 3 — район конуса выноса обломочного материала

- агротехнические и лесомелиоративные мероприятия: правильное использование горных склонов; сохранение дернового слоя на пастбищах; устранение пересыхания верхнего слоя почвы; недопущение поверхностей эрозии почв при осадках; регулирование пастбищного хозяйства; лесопосадки на склонах;

- строительство специальных гидротехнических сооружений (например, см. табл. 34) и террасирование склонов.

Таблица 34

**Специальные гидротехнические сооружения
для защиты территорий от селей**

Сооружение	Конструкция
Селерегулирующие: селепропускные, селенаправляющие, селебрасывающие и селеотстойные	Селеспуски, селеотводы. Дамбы, подпорные стенки. Запруды, пороги, перепалы, каналы
Селеделительные	Полузапруды, буны, шпоры. Селезаградители, тросовые селерезы, щелевые запруды
Селезадерживающие: глухие с отверстиями	Плотины, котлованы, обвалования. Плотины с отверстиями
Селетрансформирующие (направленные на разжижение селя)	Каналы и трубопроводы из водохранилищ

Селерегулирующие сооружения позволяют пропускать селя в обход защищаемого сооружения над или под ним (под оросительным каналом), селенаправляющие сооружения устраивают для пропуска селя вдоль защищаемого объекта; селеотстойные — перед сооружениями защитными дамбами и подпорными стенками.

Селеделительные сооружения позволяют задерживать крупные и пропускать мелкие фракции селевого потока. Их используют как временные защитные сооружения и делают в виде металлических заанкеренных сеток из толстого троса.

Глухие селезадерживающие сооружения задерживают селя полностью и обычно это железобетонные, реже грунтовые селехранилища. Плотины с отверстиями задерживают крупные камни и превращают поток в водный.

Селетрансформирующие сооружения позволяют при помощи подачи воды из водохранилища по трубам или каналам разжижать селя.

Снежные лавины. Это обрушение больших масс снега с крутых склонов гор. На высоких горных хребтах постоянно накапливается снег, образуя нависающие над склонами большие карнизы. Под действием собственной тяжести масса снега находится

Р и с. 111. Снежная лавина в горах

в весьма неустойчивом состоянии. В определенный момент от перегрузки, порыва ветра и даже от звукового колебания воздуха огромная масса снега приходит в движение и обрушивается вниз по склону (рис. 111).

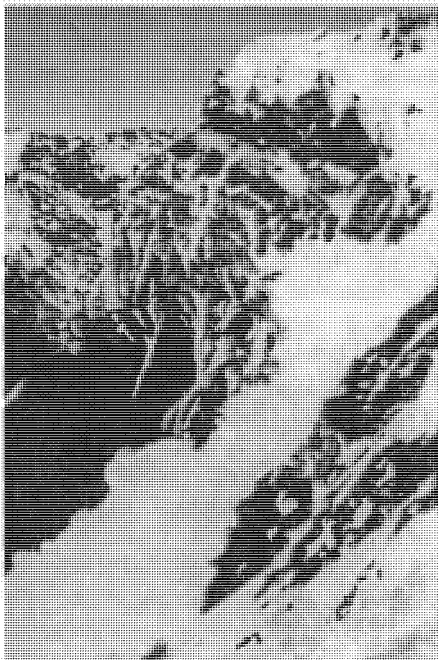
Лавины образуются при достаточном снегонакоплении на безлесных склонах крутизной 15° и более; при уклонах более 50° снег ссыпается и лавины не образуются. Считается, что ровный травянистый склон протяженностью 100—500 м и уклоне 30° — 40° (а иногда и 20°) является оптимальным для формирования лавин.

Снежные лавины бывают *сухие* и *мокрые*. Если на снежную поверхность, покрытую образовавшейся после оттепели коркой льда, ложится новая масса рыхлого снега, которая в силу определенных причин соскальзывает вниз, то это дает сухую лавину. Обрушение сопровождается огромным облаком снега. Мокрые лавины возникают в период оттепели. Вода проникает под снег и вызывает обрушение.

Скорость движения сухих лавин достигает от 100 до 400 км/ч. Движение мокрых лавин более медленное — 20—50 км/ч. Снежные лавины по мере движения вниз захватывают новые массы снега, а также различный обломочный материал. Лавины на своем пути сносят леса, разрушают здания и сооружения, засыпают жилые поселки многометровой толщей снега. Сила удара снежных лавин может достигать 60 т/м^2 .

Лавины перед собой образуют воздушную волну, которая, в свою очередь, обладает большой разрушительной силой.

По характеру движения лавины подразделяют на *осовые*, *лотковые* и *прыгающие*. Снежные *осовы* (или снежные оползни) наблюдаются на склонах южной экспозиции и представляют собой сползание снега на сравнительно большой площади склона. Осовы надвигаются на долины широким фронтом. *Лотковые* ла-



вины двигаются по определенным ложбинам сравнительно узкой полосой. У подошвы склонов они создают снежные накопления, после таяния которых на месте остается разнообразный обломочный материал, остатки деревьев. *Прыгающей* называют снежную лавину, которая при своем движении падает с обрыва в долину.

В нашей стране снежные лавины возникают в горах Кавказа, Алтая, Кольского полуострова и в других районах. История знает много примеров лавин катастрофического характера. Так, снежная лавина в 1812 г. запрудила Дарьяльское ущелье. Обвал из снега и льда остановил течение р. Терека на 3 дня, уничтожил 14 км Военно-Грузинской дороги. В мае 1970 г. в Перу с горы Уаскарак сошла лавина объемом 50 млн м³, прошла она 15 км со скоростью 320 км/ч и уничтожила г. Юнгай, в котором из 20 тыс. жителей уцелело лишь несколько сотен. В марте 1910 г. в Каскадных горах (штат Вашингтон, США) лавина сбросила в ущелье пассажирский поезд (погибло 100 человек). Лавина, сошедшая в 1966 г. в бассейне р. Хелино (Алтай), уничтожила лес на площади 40 га. Зафиксированы случаи (Приэльбрусье, Кавказ), когда уничтожался лес с диаметром сосен в 90 см.

При инженерно-геологических изысканиях определяют лавиноопасные районы и направления, устанавливают пути и границы движения лавин. Область действия воздушной волны определяют расчетом. В настоящее время строители могут руководствоваться картой, на которую нанесены все лавиноопасные районы России. Для изучения лавин оборудованы наблюдательные станции.

Там, где снежные лавины представляют опасность для зданий и сооружений, с ними активно борются. Способы защиты разнообразны и зависят от особенностей местности и характера движения лавин. Большое внимание уделяется мерам предупреждения. Чтобы снег не соскальзывал, склоны террасируют, производят посадку леса, ставят подпорные стенки. В лавиноопасных местах не допускают опасного скопления снега, периодически его обрушивают взрывопатронами или обстрелом из орудий.

В населенных пунктах организуют инженерную защиту. Для отвода лавин строят отбойные и направляющие стенки, устраивают специальные дамбы и стены для прикрытия зданий от удара снежных масс. Дороги на склонах перекрывают каменными или железобетонными галереями, что обеспечивает надежное и безопасное движение транспорта.

Глава 23

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РЕК

Подземные воды и временные ручьи атмосферных осадков, стекая по оврагам и балкам, собираются в постоянные водные потоки — реки. Площадь, с которой к реке стекает вода, называют *бассейном реки*. Полноводные реки совершают большую геологическую работу — разрушение горных пород (*эрозия*), перенос и отложение (*аккумуляция*) продуктов разрушения.

Эрозионная деятельность рек. Эрозия осуществляется динамическим воздействием воды на горные породы. Кроме того, речной поток истирает породы обломками, которые несет вода, да и сами обломки разрушаются и разрушают ложе потока трением при перекачивании. Одновременно вода оказывает на горные породы растворяющее действие.

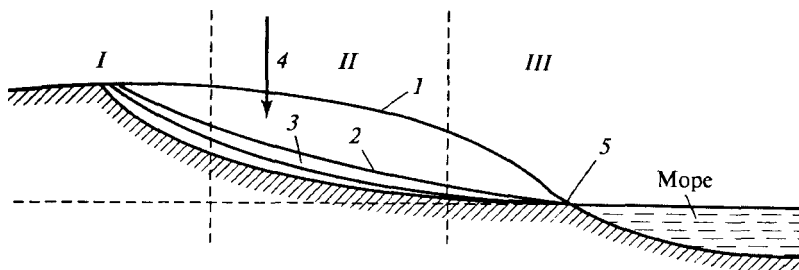
Перенос продуктов эрозии осуществляется различными способами: в растворенном виде, во взвешенном состоянии, перекачиванием обломков по дну, сальтацией (подпрыгиванием). В растворенном состоянии река переносит до 25—30 % всего материала. Во взвешенном состоянии передвигаются пылевато-глинистые и тонкопесчаные частицы.

Размер обломков, которые может переносить водный поток, пропорционален шестой степени скорости его течения, которая, в свою очередь, пропорциональна продольному уклону русла. Поэтому быстрые горные реки способны перемещать валуны диаметром в несколько метров.

При определенных условиях река откладывает обломочный материал. Речные отложения называют *аллювиальными* (аQ).

В процессе размывающей и аккумулятивной деятельности реки в коренных породах вырабатывают вытянутые, корытообразные углубления, которые носят название *речных долин*. На рис. 112, 113 показано, как река за счет эрозии углубляет свою долину, вырабатывает определенный продольный профиль, стремясь достигнуть максимальной глубины. Положение профиля, как и всей эрозионной деятельности реки, зависит от базиса эрозии, под которым понимают уровень моря или каких-либо других бассейнов, куда впадает река (или прекращает свое движение).

По мере углубления долины река проходит ряд стадий. На первой стадии дно реки имеет значительный уклон, поток обладает большой скоростью, интенсивно действует *донная эрозия*. Долина узкая, глубокая, типа теснины и ущелья. Обломочный материал (*аллювий*) почти весь поступает в морской бассейн. Для этой ста-



Р и с. 112. Продольный профиль долины реки:

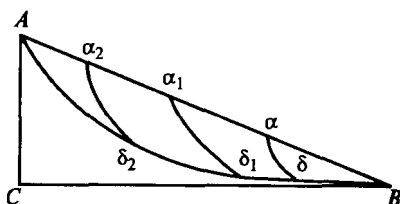
I — верхнее течение; *II* — то же, среднее; *III* — то же, нижнее; 1–3 — последовательные стадии выработки профиля реки; 4 — направление донной эрозии; 5 — базис эрозии

дии развития типичны *горные реки*, т. е. *молодые реки*. По мере приближения русла к максимальной глубине река переходит в последнюю стадию своего развития. На значительном протяжении река теперь имеет небольшой уклон. Скорость потока снижается. Постепенно река вырабатывает равновесный профиль. Глубинная эрозия сменяется боковой. Река размывает свои берега, русло долины блуждает (или меандрирует). Долины широкие, пологие. Обломочный материал в большей своей части оседает в русле. Река мелеет, появляются отмели, перекаты, косы. Такие реки находятся в стадии старости и типичны территориям равнин.

Последовательность стадийного развития рек нарушается движением земной коры (неотектоникой), которые меняют высотное положение базиса эрозии или верховьев рек. Опускание базиса эрозии или поднятие верховья приводит к возобновлению донной эрозии. Долина снова углубляется, и река повторяет стадии своего развития. Поднятие базиса эрозии или опускание верховья снижает скорости течения, и в долинах усиливается аккумуляция наносов. Река быстро стареет.

Большое влияние на развитие рек оказывает производственная

деятельность человека. Усиление аккумуляции на каком-либо участке реки может быть вызвано интенсивным забором воды в целях водоснабжения и орошения сельскохозяйственных угодий или увеличением поступления твердого стока за счет сброса в реку отвальных пород горно-рудной промышленности. Сброс в реки большого количества вод с



Р и с. 113. Стадийность формирования равновесного профиля реки (по А.П. Павлову):

α_n , δ_n — положения эрозионного вреза

Р и с. 114. Поперечное сечение речных долин:

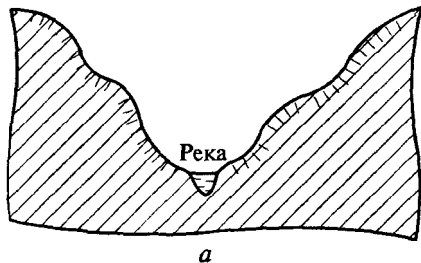
а — симметричное; *б* — асимметричное

орошаемых территорий может привести к усилению эрозионной деятельности. Строительство водохранилищ, в свою очередь, но иначе влияет на положение базиса эрозии всей реки или ее части. Выше плотин уменьшаются скорости течения, растет аккумуляция наносов: ниже плотин осветленная вода резко повышает донную эрозию. Например, понижение уровня озера Севан (Армения) вследствие сработки воды на гидростанциях вызвало резкую донную эрозию приустьевых частей рек, впадающих в это озеро.

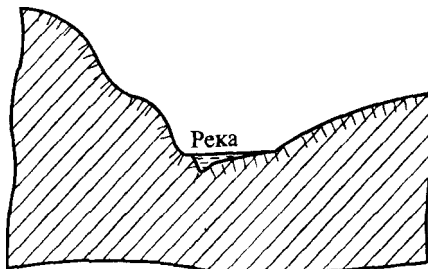
При инженерно-геологической оценке территорий геологическую деятельность рек следует изучать в связи с природными причинами и с хозяйственной деятельностью человека. Особое внимание уделяется размыву русел рек, аккумуляции наносов и подмыву берегов.

Строение речных долин. Долины рек разнообразны по формам, размерам, строению. Это можно видеть в поперечных разрезах. Долины бывают *симметричные* и *асимметричные* (рис. 114). Последние являются следствием вращения Земли и свойственны равнинным рекам (или участкам рек) с меридиональным направлением течения.

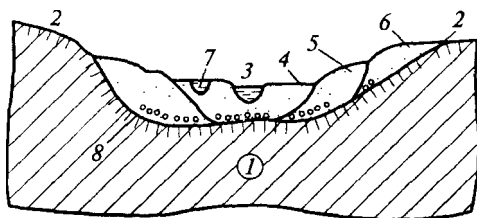
Долина имеет следующие элементы: дно долины, русло, пойму и террасы (рис. 115). *Дно* — низшая часть долины, заключенная между подошвами склонов. *Русло* — часть долины, занятая водным потоком. Поперечный разрез потока называют живым



а



б



Р и с. 115. Элементы строения долины реки:

1 — коренные породы; 2 — склон;
3 — русло; 4 — пойма; 5 — первая над-
пойменная терраса; 6 — то же, вторая;
7 — старица; 8 — дно долины

сечением. *Пойма* — часть речной долины, заливаемая водой в период паводка в силу таяния снега весной. Поймы бывают *низкие*, заливаемые ежегодно, и *высокие*, эти обычно заливаются один раз в 10—15 лет. *Старицы* — изолированные старые русла рек, в которых вода не движется, а стоит, как в озерах.

Иногда при характеристике речных долин применяют понятие *талвег* — условная линия, соединяющая самые глубокие точки дна долины. В большинстве случаев дно долины представляет собой сравнительно ровную поверхность.

Необходимо различать следующие уровни воды в реке:

- расчетный горизонт высоких вод, отвечающий средним из наибольших уровней реки, наблюдавшихся в течение многих лет;
- наивысший горизонт высоких вод, выше этого уровня по многолетним наблюдениям вода не поднималась;
- меженный горизонт — низкий уровень воды.

На береговом участке поймы, вдоль русла, часто образуется прирусловый вал, сложенный песком. Поверхность центральной части поймы содержит протоки, старицы, озера, старые прирусловые валы.

Террасы — уступы на склонах долин рек. Террасы бывают поперечные и продольные. *Поперечные* располагаются поперек рек долины и порождают водопады. Их появление связано с пересечением рекой пород различной прочности. Мягкие породы размываются быстро, между ними и твердыми породами образуются уступы высотой от нескольких до десятков метров. Вода падает с уступа (порога) и продолжает разрушать мягкие породы. Примером могут служить пороги на р. Ангаре и др.

Продольные террасы располагаются вдоль склонов долин в виде горизонтальных или почти горизонтальных площадок. Их называют надпойменными. При паводках они не заливаются водой. Каждая надпойменная терраса в свое время была поймой. Дальнейшее углубление дна долины поднимает надпойменные террасы все выше и выше.

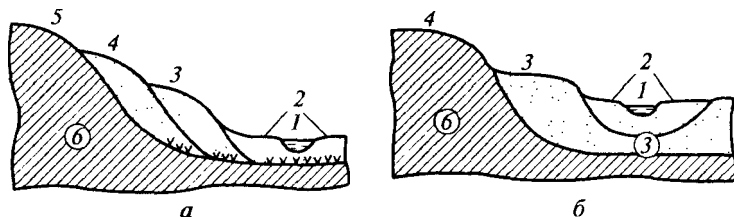
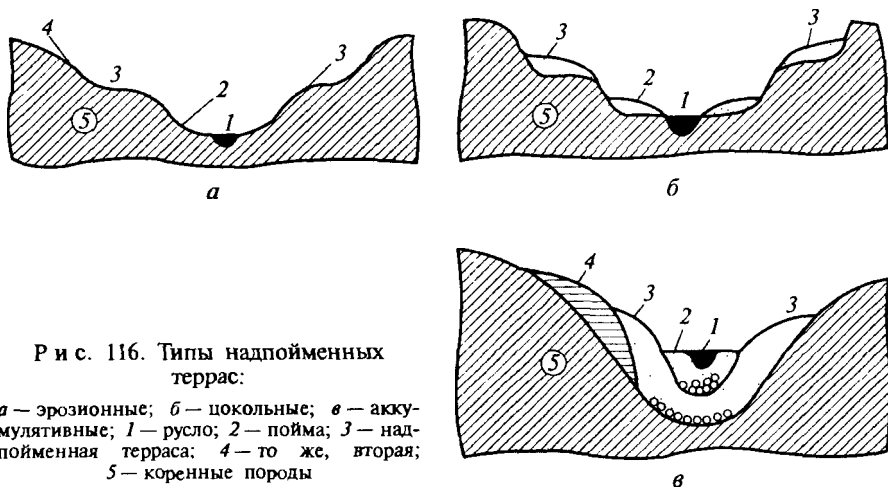
Отсчет надпойменным террасам ведут снизу вверх (I — надпойменная, II — надпойменная и т. д.). Общее количество бывает различным: в долинах равнинных рек до 3—4, горных рек — значительно больше. Известны случаи, когда долины горных рек имеют до 10—15 надпойменных террас. Долина р. Дон у г. Ростова-на-Дону имеет 5 террас, долина р. Кубани у г. Черкесска — до 14.

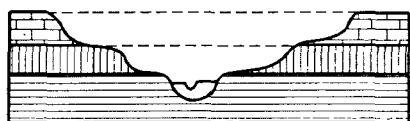
Каждая терраса измеряется высотой и шириной. Высота колеблется от метров до десятков метров, ширина — от десятков метров до десятков километров. Продольные террасы по слагаю-

шему их материалу подразделяют на эрозионные, цокольные и аккумулятивные (аллювиальные) (рис. 116).

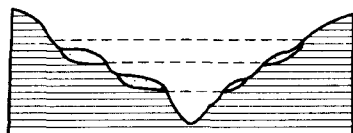
Эрозионные террасы вымываются рекой в коренных породах долины и возникают на первых стадиях развития реки (чаще горной) или в ее верхнем течении. Эрозионные террасы, перекрытые маломощным аллювием, называют *цокольными*. *Аккумулятивные* террасы полностью сложены из аллювиального материала и наиболее типичны долинам равнинных рек.

Аккумулятивные террасы подразделяют на вложенные и наложенные (рис. 117, 118, 119). Долины с *вложенными террасами* формируются следующим образом. Вначале река образует долину в коренных породах. Далее в процессе старения река заполняет свою долину аллювиальными наносами. Новое усиление эрозионной деятельности углубляет дно долины, но уже в ранее отло-



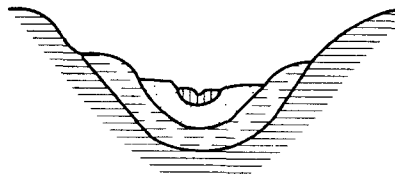


а

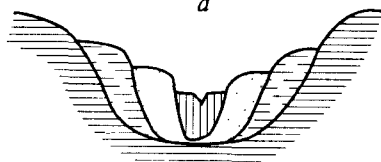


б

Р и с. 118. Врезанные террасы:
а — нормальный размыв; б — энергичный размыв



а



б

Р и с. 119. Прислоненные террасы:
а — в условиях затухающей эрозии;
б — при равномерно интенсивной глубинной эрозии

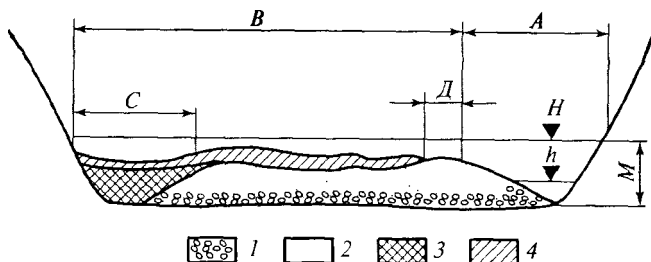
жившемся аллювию. Часть аллювия, прислоненная к коренному склону, сохраняется в виде надпойменных террас. Последующие циклы накопления наносов дают новые надпойменные террасы, причем каждая последующая по возрасту оказывается моложе предыдущей.

Наложенные террасы образуются несколько иначе. Усиление эрозионной деятельности приводит лишь к частичному размыву ранее отложившегося аллювия. Аккумуляция новых наносов происходит поверх более древних аллювиальных отложений.

Геологическое строение речных долин имеет важное значение при инженерно-геологической их оценке в строительных целях. Наиболее благоприятными в этом отношении являются террасы эрозионные. Значительно сложнее решаются вопросы строительства на аккумулятивных наносах (рис. 120, 121).

Борьба с эрозией рек. Для зданий и сооружений, расположенных в речных долинах, подмыв берегов, в том числе и древних террас, и углубление дна реки представляет значительную опасность. Это приводит к обрушению берегов, сокращению строительных площадок, появлению обвалов, оползней и другим нежелательным явлениям (рис. 122).

Скорость размыва берегов, сложенных рыхлыми породами, может быть значительной. Так, р. Кубань ниже г. Краснодара в отдельных случаях размывала лессовый берег со скоростью до 20 м в год.



Р и с. 120. Схема строения поймы (по Е.В. Шанцеру):

А — русло; *В* — пойма; *С* — старица; *Д* — прирусловый вал; *Н* — уровень половодья; *h* — уровень межи; *М* — нормальная мощность аллювия (русловой аллювий: 1 — крупнозернистый песок, гравий, галька; 2 — мелко- и тонкозернистые пески; старичный аллювий: 3 — торф; пойменный аллювий: 4 — суглинок)

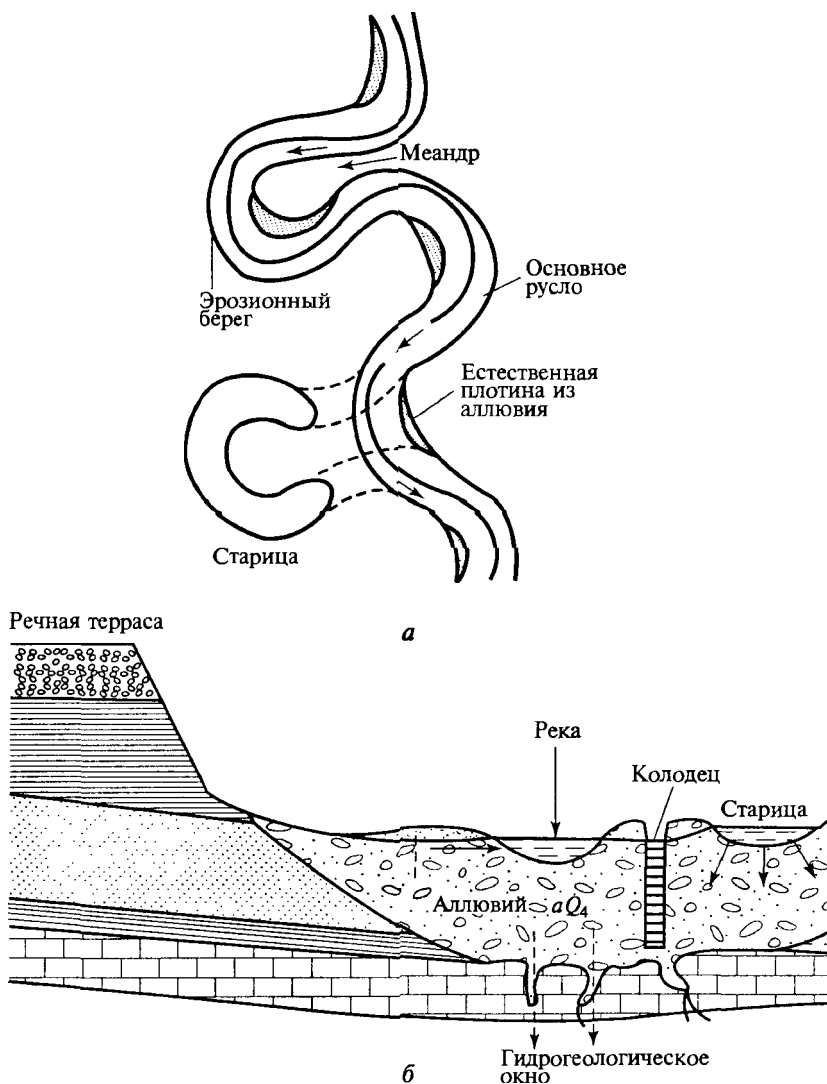
С боковой эрозией борются укреплением берегов с регулированием течения реки. В зависимости от геологического строения берега, характера и места размыва укрепление проводят устройством набережных, подпорными стенками, свободной наброской бутового камня или в фашинных тюфяках, укладкой железобетонных плит и т. д.

Хорошо защищают берег струенаправляющие стенки, дамбы и буны (см. рис. 122), регулирующие направление течения реки.

Способы укрепления подводной и надводной частей берега различны. Подводную часть берега ниже меженного горизонта следует укреплять каменной наброской и фашинными тюфяками, загруженными камнем; надводная часть крепится бетонными армированными плитами, подпорными стенками, камнем в плетневых клетках. В отдельных случаях интенсивная боковая эрозия заставляет переносить сооружения подальше от берега. Так, например, произошло с городом Турткулем. Эрозионная деятельность Аму-Дарьи заставила перенести этот город на новое безопасное место. Так возник новый город Нукус.

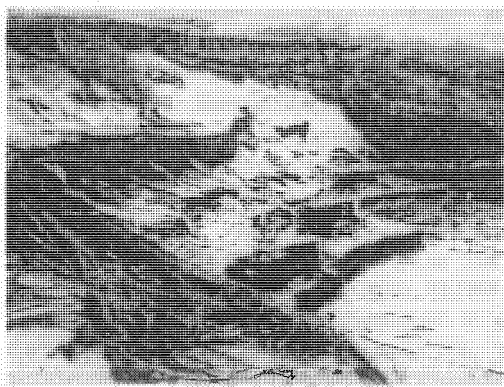
Донная эрозия наиболее опасна для опор мостов, поэтому они должны иметь достаточное заглубление. Следует учитывать движение льда, так как заторы могут вызвать резкий подъем уровня реки и затопление прибрежных районов. Заторы следует разрушать, а в местах их образования заранее производить обвалывание берегов.

Неблагоприятно сказываются паводки на пойму рек. Сооружения и берега долины необходимо защищать земляными дамбами, отсыпкой камня и другими способами, позволяющими нейтрализовать эрозионную силу паводковых вод. Для строительства более благоприятны неподмываемые и незаносимые участки долины.

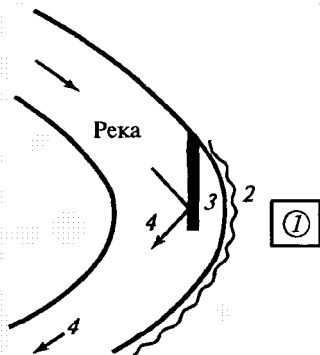


Р и с. 121. Флювиальный процесс:
а — план речной долины; *б* — поперечный профиль

Аллювиальные отложения рек и их строительные свойства. Большую часть обломочного материала реки выносят к морю и откладывают в районе дельт. Волга выносит в Каспийское море до 25 млн т наносов в год.



а



б

Р и с. 122. Подмыв берега рекой (а), струна-направляющая стенка в русле реки (б):

1 — здание, 2 — размываемый берег, 3 — струна-направляющая стенка, 4 — течение реки

Значительная часть аллювиальных отложений скапливается в *руслах рек и на поймах*. Общая мощность аллювиальных отложений в долинах рек различна — от нескольких метров до десятков метров. Например, в долине средней Волги аллювий составляет 18—22 м, а аллювий Дона у г. Ростова-на-Дону — до 25 м; у притока Дона реки Темерник — 15—18 м и т. д.

Состав аллювиальных отложений отражает скорость речного потока. Скорость потоков в течение года, ряда лет, а также в зависимости от стадий развития реки весьма различна. Это приводит к накоплению в одной и той же части долины аллювиальных осадков различного состава и крупности, к литологической пестроте аллювиальных толщ. В состав аллювия входят глыбы, валуны, галечник, гравий, пески, суглинки, глины, илы, органический материал. Там, где течения наиболее сильные, например горные реки, преобладает крупноблочный материал. Для равнинных рек свойственны пески и более мелкозернистые осадки.

По характеру осадков и месту их накопления речные отложения разделяют на *дельтовые, русловые, пойменные и старичные*.

В дельтах накапливаются песчано-глинистые осадки. Материал, который откладывается в руслах рек, называют *русловым аллювием*. В его состав входят пески и более грубые обломки — галечник, гравий, валуны. *Пойменный аллювий* откладывается в период паводка и представляет собой суглинки различного состава, глины и мелкозернистые пески. Отложения поймы обычно обогащены органическим материалом. *Старичный аллювий* фор-

мируется на дне стариц, на которых откладываются илы со значительным количеством органических веществ. В период паводка в старицы поступает тонкозернистый песок, который, смешиваясь с илом, образует илистые пески. Характерной формой залегания старичных отложений является линза.

В основании толщ аллювия обычно залегают отложения, отличающиеся от покрывающих их толщ крупнозернистостью (галечники, гравий, крупнозернистые пески).

В пределах речных долин могут залегать отложения неаллювиального характера. К их числу относят делювий, конусы выноса пролювиальных наносов и эоловые накопления.

Речные долины служат местом активной производственной деятельности человека. В связи с этим аллювиальные отложения зачастую попадают в сферу строительных работ. К оценке аллювиальных отложений, как оснований, следует подходить дифференцированно, исходя из того, что существуют три разных типа грунтов — русловые, пойменные и старичные, не говоря уже об особенностях микрофаций аллювия.

В речных долинах, на поймах и надпойменных террасах часто приходится строить крупные здания и сооружения, передающие значительные нагрузки на грунт. Примером могут служить элеваторы, речные вокзалы, различные портовые сооружения и др. В качестве оснований для них принимают древний уплотненный аллювий аккумулятивных террас и русловые отложения, так как русловой аллювий, представленный крупными обломками и песком, способен выдерживать тяжелые сооружения. Русловые отложения в долинах крупных рек служат хорошим основанием для мостовых переходов. В случаях, когда русловой аллювий перекрывается пойменными и старичными отложениями, используют свайные фундаменты.

Древний пойменный аллювий в виде суглинков и глин твердой консистенции является хорошим основанием. Однако следует иметь в виду, что на древних террасах аллювиальные суглинки часто имеют лессовидный облик и могут обладать просадочными свойствами. В этом случае строительство следует вести как на лессовых просадочных грунтах.

Современный пойменный аллювий обладает высокой влажностью либо вообще находится в водонасыщенном состоянии с низкой несущей способностью. Суглинки и глины легко переходят в пластичное и даже текучее состояние.

Наиболее слабыми из аллювиальных отложений являются старичные иловатые. При строительстве между подошвой фундамента и иловатым грунтом применяют песчаные подушки или свайные фундаменты.

Следует учитывать и такую характерную особенность аллювиальных отложений, как многослойность их толщ с наличием линз и пропластков. Слои и прослои под нагрузкой могут обладать различной сжимаемостью, что значительно усложняет расчет осадки сооружений. Особенно большая опасность угрожает зданию, если его фундамент в разных своих частях опирается на грунты с различной сжимаемостью. С аллювиальными отложениями связаны такие явления, как плавучность песчаных и набухание глинистых грунтов.

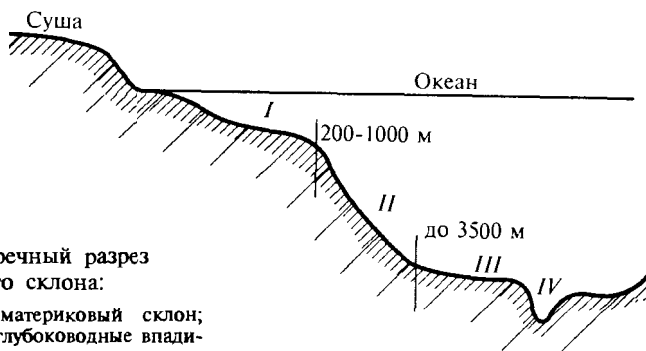
Глава 24

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОРЯ

Море — это одна из главных геологических сил, преобразующих облик Земли. Площадь морей и океанов в 2,4 раза больше площади суши. В морских бассейнах, как обычно именуют моря и океаны, протекают сложные процессы энергичного разрушения, перемещения продуктов разрушения, отложения осадков и формирования из них различных осадочных горных пород.

Эти процессы наиболее интенсивно проявляются в прибрежной мелководной зоне (0—200 м) — зоне *шельфа*, которая окаймляет сушу полосой различной ширины и представляет собой подводное продолжение континентов (рис. 123). Площадь шельфа составляет 7,6 % площади морей и океанов.

На глубине от 200 до 2000 м располагается *материковый склон*, от 2000 до 6000 м — *океаническое ложе* и более 6000 м — *глубоководные впадины*. На глубине свыше 200 м волнения, происходящие на поверхности воды, не сказываются на донных отложениях.



Р и с. 123. Поперечный разрез океанического склона:

I — зона шельфа; *II* — материковый склон;
III — ложе океана; *IV* — глубоководные впадины дна

Дневной свет сюда не проникает. Эта глубина является пределом распространения донных растительных организмов.

В прибрежной зоне морские осадки (обломочные горные породы) формируются как за счет продуктов разрушения берегов, так и за счет привноса материала ветром и особенно реками. В морях обитают многочисленные организмы, имеющие твердые скелеты (раковины, панцири), состоящие из CaCO_3 или $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, составляющие тем самым органические осадки, образующие органические горные породы. Морская вода богата солями, поэтому среди морских отложений большое место занимают отложения химического происхождения.

Вследствие вертикальных колебаний земной коры моря перемещаются, как бы переливаются с одного места на другое. В одних местах берег отступает и населенные пункты заметно удаляются от моря. В других море наступает, берег погружается под воду, энергично размывается. В геологии эти явления получили наименование *трансгрессии* (наступление) и *регрессии* (отступление) моря. Это обстоятельство имеет существенное значение для строительства. Так, при строительстве сооружений на берегу наступающего моря необходимо предусматривать мероприятия по борьбе с размывом этих берегов.

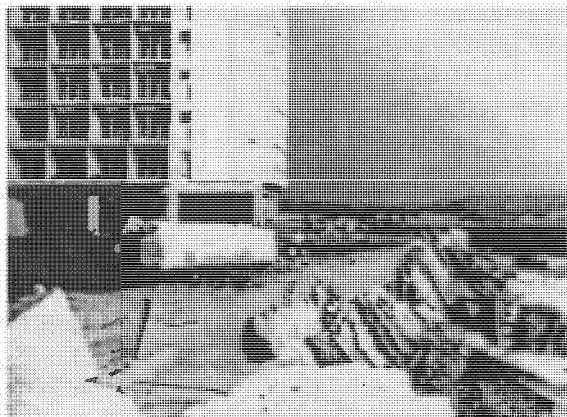
Инженерно-геологические исследования на морских берегах выполняют либо в целях освоения морских прибрежных территорий, либо для строительства зданий и сооружений на берегах. Основное внимание уделяют определению особенностей данного моря (трансгрессии, регрессии), изучению устойчивости берегов и возможности ее нарушения под влиянием деятельности моря, различных процессов (оползни, обвалы и т. д.). В зависимости от поставленных задач инженерно-геологическим исследованиям подвергаются не только береговая часть на суше, но и прибрежная (подводная) часть моря.

Абразионная работа моря. Геологическая деятельность моря в виде разрушения горных пород, берегов и дна называют *абразией*. Процессы абразии находятся в прямой зависимости от особенностей движения воды, интенсивности и направления дующих ветров и течений.

Основную разрушительную работу совершают: *морской прибой* и в меньшей мере различные *течения* (прибрежные, донные, приливы и отливы).

Морской прибой. Волны действуют на берег постоянно. Под силой удара морские берега разрушаются (рис. 124), образуются обломки пород, которые подхватываются волнами и «бомбардируют» берега. Главное значение в этом процессе имеет механическая сила волн и постоянное ударное действие волн и обломков пород.

Р и с. 124. Разрушение
подпорной стены
на берегу Черного моря

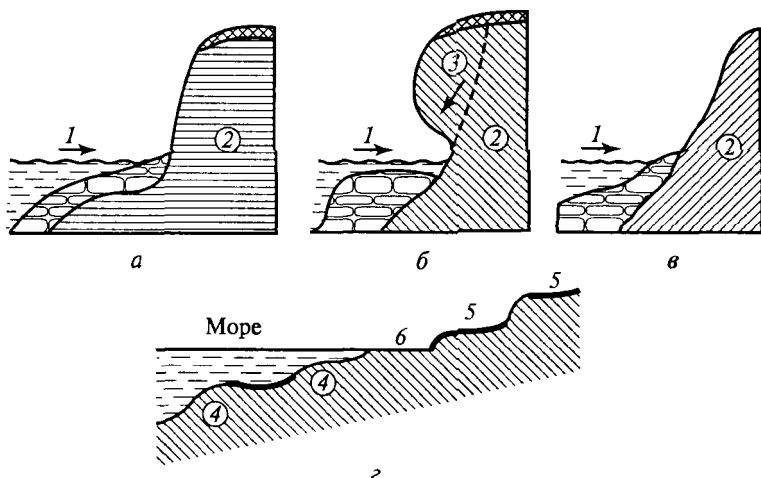


Сила удара морской волны довольно значительна. Во время больших бурь волны способны перекачивать глыбы пород массой в 30—40 т на расстояние до 10—20 м. При ударе по отвесным берегам волны иногда поднимаются на высоту до 20 м.

С глубиной действие волн ослабляется. Волновые движения в море прекращаются на глубинах, равных примерно половине длины волны, т. е. расстоянию между двумя соседними гребнями.

Морские берега в результате подмыва разрушаются от волн с различной скоростью от сантиметров до нескольких метров в год. Так, в районе Сочи — 4 м/год, глинистые невысокие берега побережья Азовского моря — до 12 м/год. На скорость подмыва влияет ряд факторов. Наиболее медленно разрушение протекает на участках берегов, сложенных скальными породами типа гранита, гнейса и др. Быстрее всего разрушаются берега, сложенные рыхлыми осадочными отложениями (суглинок и др.). Существенное значение имеет характер напластования пород (рис. 125, *а*). Так, наиболее быстро разрушаются берега, сложенные породами с пологим углом падения от моря (рис. 125, *б*), и менее быстро — с пологим углом падения в сторону моря (рис. 125, *в*). В этом случае волны скользят по поверхности слоев, причиняя им незначительные разрушения. Правда, в последнем случае глинистых пород такое залегание слоев нередко приводит к образованию оползней, как, например, на Черноморском побережье в районе Сочи—Туапсе. Достаточно устойчивы берега с горизонтальным залеганием слоев (рис. 125, *г*).

Разрушительная работа волн особенно значительна у крутых, обрывистых берегов, где глубина моря сравнительно большая.



2

Р и с. 125. Устойчивость берега моря в зависимости от напластывания пород:
а — средняя; *б* — минимальная; *в* — максимальная; *г* — профиль морского берега с террасами;
1 — волны; *2* — положение слоев пород; *3* — возможные оползни; *4* — подводная терраса;
5 — надводные террасы, *6* — пляж

Пологие берега гасят ударную силу волны, и абразия проявляется в меньшей степени. В результате абразии морские берега приобретают определенные очертания в плане и разрезе. Линия берега в плане может быть сильно изрезанной или сохранять более или менее плавные очертания.

В результате абразии на берегах образуются *волноприбойные террасы*. В одних случаях эти террасы могут быть сложены коренными породами, в других — морскими отложениями (аккумулятивными). В силу колебания уровня моря или, иначе говоря, вертикальных тектонических колебаний прибрежной территории морские террасы могут располагаться выше пляжа или находиться под водой. Террасы выше пляжа показывают поднятие берега и отступление береговой линии в сторону моря. Такие террасы называют *морскими*. *Подводные* террасы свидетельствуют о наступлении моря и опускании берега ниже уровня воды. Пляжем обычно называют часть берега, которая перекрывается максимальной волной или приливом. При наличии пляжа шириной более 20 м энергия волн гасится в его пределах. Разрушение коренного берега выше пляжа не происходит. При отсутствии пляжа берег будет разрушаться наиболее интенсивно.

Кроме механического разрушения морская вода оказывает химическое воздействие. Она растворяет породы и строительные

материалы. Значительное разрушительное воздействие оказывают многие морские организмы и растения. Например, планктон, создавая слой обрастания, может разрушать бетон и камень.

Известную разрушительную работу оказывают *морские течения* — прибрежные и донные, а также приливы и отливы, которые в России наиболее значительны в морях Тихоокеанского бассейна. Для строительства наиболее важны береговые течения, определяющие накопления пляжей.

Морские приливно-отливные и постоянные течения имеют незначительные скорости — от сантиметра и до десятков сантиметров в секунду. Лишь скорость постоянного течения Гольфстрим достигает 2,5 м/с. Очевидно, что разрушительная работа течений в сравнении с волнами довольно невелика. Наибольшее значение течения имеют в переносе продуктов разрушения. Во взвешенном состоянии ими транспортируются растворенные вещества и песчано-глинистые частицы. Более крупные частицы и обломки пород особенно при приливно-отливных течениях переносятся в основном волочением по дну.

Волны перемещают обломочный материал волочением по дну и пляжу, но транспортирующее действие оказывают лишь те волны, которые направлены к берегу под некоторым углом. В этом случае обломки передвигаются вдоль берега. Скорость их движения зависит от интенсивности волн и может быть значительной. Так, в районе Сочи на Черноморском побережье зафиксированы случаи перемещения отдельных обломков со скоростью 700 м/сут, а галечника — до 100 м/сут. Перенос обломков вдоль берегов может отразиться на размере пляжа в сторону его увеличения или уменьшения. В данном случае большую роль играют горные реки, которые являются крупными «поставщиками» обломочного материала.

Строительство сооружений в районе пляжа часто приводит к его расширению с той стороны, откуда надвигается масса обломков, и уменьшению с другой (в частности, так сказывается установка вдоль берега бун). К уменьшению пляжей приводит также разработка и вывоз песка, галечника для строительных целей.

При проектировании зданий и сооружений на берегах морей необходимо учитывать абразию, обрушение берегов и возможное истощение пляжей.

Для укрепления берегов от абразии используют ряд способов. По принципу работы берегоукрепительные сооружения можно разделить на пассивные и активные.

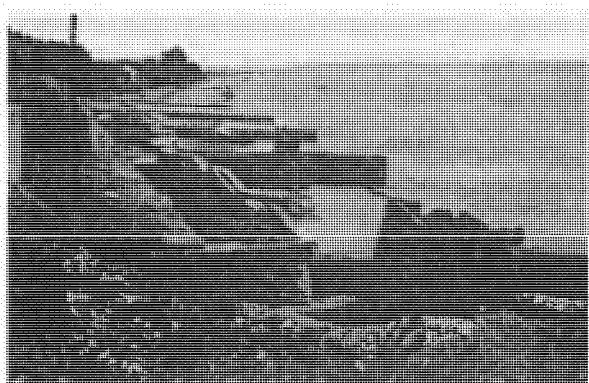
К *пассивным* сооружениям относят *волноотбойные* стенки вертикального типа, расположенные вдоль берега и принимающие

на себя удары морских волн. Для отбрасывания волновых всплесков в сторону моря наружной грани этих стенок придается криволинейная форма. Волноотбойные стены выполняют из монолитного железобетона, а лицевую грань во избежание истирания бетона песчано-гравийным материалом нередко облицовывают штучным камнем из скальных пород.

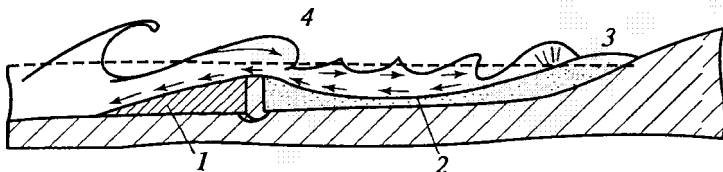
Но все-таки наибольшее значение для укрепления берега имеет пляж. Даже сравнительно неширокая полоса пляжа, порядка 7—10 м, может предохранить берег от разрушения. Пляжи необходимо сохранять и увеличивать или создавать их. Этому служит группа сооружений *активного* типа — буны и волноломы.

Буны задерживают наносы, перемещаемые волнами вдоль берега. Они представляют поперечные железобетонные стены, устанавливаемые нормально или под углом к линии берега. Волны, встречая на своем пути преграду, теряют скорость и переносимые ими наносы откладываются между бун. Буны бывают различных конструкций, например, из двух рядов железобетонных или металлических свай, с каменной наброской и покрытые бетонной плитой. На Черноморском побережье Кавказа ставят буны в виде железобетонных ящиков — понтонов, которые после установки заполняют бетоном или бутобетоном (рис. 126).

Волноломы создают параллельно береговой линии на расстоянии 30—40 м от берега и на глубине 3—4 м (рис. 127). Расстояние зависит от состава пород берега и наличия волноотбойной стенки. Верх волнолома устанавливают на глубине 0,3—0,5 м от низкого уровня моря. Пологая грань волнолома должна быть обращена в сторону моря. Они могут быть из монолитного бетона или железобетонных коробов, заполненных бетоном (или камнем).



Р и с. 126. Буны
на берегу моря



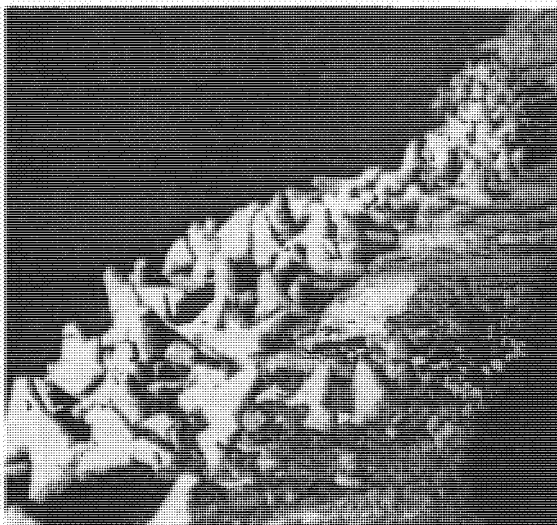
Р и с. 127. Берегозащитные сооружения:

1 — волнолом; 2 — обломочный материал; 3 — пляж; 4 — волны

В последнее время для защиты берегов часто применяют железобетонные *тетраподы*, представляющие собой фигуру с четырьмя ответвлениями в форме усеченных конусов, симметрично размещенных в пространстве. Благодаря такой форме тетраподы заклиниваются в наброске или грунтах и хорошо держатся в крутых откосах (рис. 128).

Достаточно перспективным, как показали экспериментальные исследования, является использование для создания пляжа конструкций из геосинтетических материалов, например, из полиэтилена высокого давления.

Морские отложения осадков. В морях и океанах, в силу транспортирующего действия воды, осадки распределяются довольно закономерно. Так, у берегов накапливается грубообломочная масса (галечники, гравий и т. д.); в зоне шельфа — пески различной крупности; на материковом склоне преобладает глинистый ма-



Р и с. 128. Укрепление берега моря тетраподами

териал. По мере удаления от берега к обломочным накоплениям (глинистым осадкам) все более примешивается органический материал, формируя илы и осадки химического происхождения. Главная масса осадков откладывается в прибрежной и мелководной части моря.

На низких берегах за пляжной зоной формируются береговые валы из гальки, песка, битой ракушки (детрит). Валы возникают на расстоянии наибольшего набегания волн на низкие берега. Их высота 1—5 м, ширина до 10—12 м.

Между валами и берегом располагаются пляжные отложения — пески, илы, гравий, реже галечник. В зоне шельфа осаждаются основная масса осадков, среди которых первое по распространенности, разнообразию и мощности занимают обломочные; второе — органогенные; третье — химические образования. Химическим осадкам в прибрежной зоне более свойственны мелководные участки моря и лагуны (морские заливы, отделенные от моря подводным барьером).

На материковом склоне и океанском ложе более всего развиты органогенные осадки. Обломочные и химические осадки имеют подчиненное значение.

Морские отложения, образовавшиеся в морской среде, широко распространены на суше, где они занимают огромные пространства на континентах в виде отложений большой мощности и различного литологического состава (рис. 129). Это связано с колебательными движениями земной коры, в результате которых морские породы оказались приподнятыми над уровнем моря. Среди них чаще встречаются мелководные отложения. Морские отложения на суше принято называть *коренными породами*.

Строительная оценка пород морского происхождения определяется условиями их образования. Так, глубоководные отложения в отличие от мелководных имеют более выдержанный состав, значительную мощность, однородность, однотипные свойства.

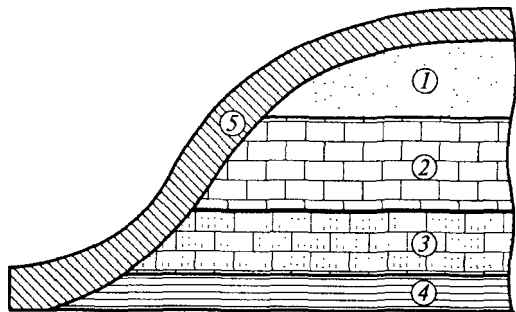


Рис. 129. Осадочная толща морского происхождения (коренные породы), перекрытые современными наносами:

1 — песок; 2 — известняк; 3 — песчаник; 4 — глины; 5 — современные наносы, представленные суглинками, т.е. делювий

Отложения шельфа довольно однообразны по напластованию, но быстро меняются по вертикали. Породы, рожденные у береговой зоны, изменчивы во всех отношениях.

Древние морские отложения являются надежным основанием под здания и сооружения. Однако не следует забывать, что в этих породах могут присутствовать примеси негативного характера, например, пирита и ряда водорастворимых солей. Глубоководные глины часто находятся в переуплотненном состоянии: в крутых откосах в них часто возникают оползни. Всегда надежными основаниями служат пески, галечники и другие породы обломочного происхождения. К слабым грунтам по прочности и устойчивости относятся мощные толщи современных прибрежных илов.

Глава 25

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В ОЗЕРАХ, ВОДОХРАНИЛИЩАХ, БОЛОТАХ

Озера — замкнутые углубления на поверхности земли, заполненные в большинстве своем пресной водой и не имеющие непосредственной связи с морем. Озера занимают 2 % поверхности суши. В России их особенно много в Карелии, Новгородской и Тверской областях, а также в некоторых районах Сибири. Берега многих озер, особенно крупных, довольно плотно заселены и широко используются для промышленного и гражданского строительства. Отсюда ясна вся важность изучения инженерно-геологических условий районов озер.

Озера имеют различное происхождение. Среди них различают:

- *тектонические* — во впадинах тектонического происхождения (например, озера Байкал, Ладожское, Онежское);
- *эрозионные* — в котловинах размыва;
- *карстовые* — в заполненных водой карстовых воронках;
- *плотинные*, или *запрудные*, образовавшиеся запруживанием рек в результате обвалов или других склоновых процессов.

Озера подобно морям совершают геологическую работу разрушительного и созидательного характера, только в значительно меньших масштабах.

Разрушительная работа озер проявляется в абразивной деятельности волн, нагоняемых ветром. Постоянно дующие в определенных направлениях ветры вызывают волны, которые прибоем подмывают берега. Так создаются *озерные абразионные террасы*, выработанные в коренных берегах, и *аккумулятивные*, сложенные

озерными осадками. Озерные террасы формируются в тесной зависимости от изменения положения уровня озера.

Каждое поднятие или опускание уровня воды в озерах вызывает абразионные процессы. Большое влияние на положение уровня оказывают тектонические движения земной коры, а в последнее время и производственная деятельность человека. Так, постройка Иркутской ГЭС обусловила поднятие уровня в озере Байкал на 1 м. Это вызвало переработку берегов в среднем на 10 м, а в отдельных местах до 80 м. Размыв берега стал угрожать устойчивости Восточно-Сибирской железной дороги, проходящей по берегу озера.

Борьба с разрушительной работой озер проводится теми же методами, как и с морской абразией, но подпорные и волноотбойные стенки, а также волноломы, буны и другие сооружения имеют значительно меньшие размеры и объемы.

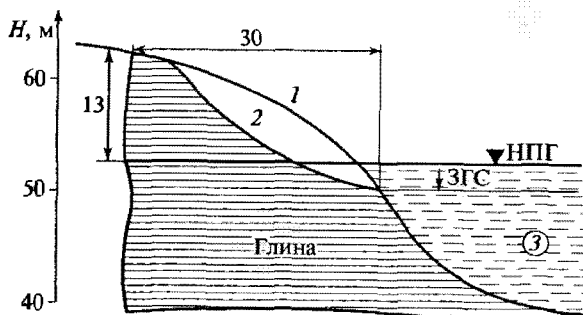
Созидательная работа озер заключается в образовании отложений. *Озерные осадки* представлены большим комплексом различных накоплений обломочного, химического и органогенного происхождения. Вдоль побережий, где формируются пляжи, навиваются дюны. Озера откладывают в основном грубые обломки и различной крупности пески. Такой же материал, но уже в виде валов, накапливается при впадении в озера рек.

Донная часть озер заполняется глинистыми осадками, песками, илами. На дне соленых озер самостоятельно или вместе с механическими осадками отлагаются соли (хлориды, сульфаты и др.). В озерах формируются специфические образования, свойственные только озерам, такие, как сапропель, торф, особые озерные мергели, иногда озерный мел, трепел.

Важнейшей особенностью некоторых мелководных озер является способность в определенных геологических и физико-географических условиях переходить в стадию болот.

Водохранилища. В настоящее время человек широко использует энергию рек для электрификации. В результате создаются искусственные водохранилища по размерам, не уступающим самым крупным озерам. Общеизвестны крупнейшие водохранилища на Дону, Волге, Ангаре, Енисее. Строятся водохранилища для сельскохозяйственных, бытовых и промышленных целей.

В искусственных водохранилищах так же, как в морях и озерах, наблюдается *абразионная* работа вод, но здесь она происходит неизмеримо более интенсивно. Это объясняется тем, что речные долины, в которых создают водохранилища, образовались в континентальных условиях под действием эрозии рек и их профиль не соответствует новым условиям, которые возникают при заполнении почти всей долины водой. Водохранилища стремятся



Р и с. 130. Схема размыва берега водохранилища Волжской ГЭС:

1 — контур берега до устройства водохранилища; 2 — контур берега, образовавшийся в процессе эксплуатации водохранилища; 3 — водохранилище; ЗГС — зимний сезон сработки; НПГ — нормальный подпорный горизонт

выработать новый профиль берегов, и размыв береговой линии происходит особенно интенсивно (рис. 130). Разрушение и переработка берегов, как показывают наблюдения, начинается непосредственно вслед за заполнением водохранилища.

Интенсивная абразионная деятельность водохранилищ нередко ставит под непосредственную угрозу жилые кварталы городов, промышленные и транспортные сооружения, жилые здания (рис. 131).

Переработка берегов и формирование чаши водохранилища — сложный процесс, в котором принимает участие ряд факторов, различных по своей значимости. Его действие проявляется в волнах, течениях и периодических колебаниях уровня воды в водохранилище.

В нижней части водохранилища, примыкающей к плотине, в связи с отсутствием уклонов водной поверхности течения не воз-



Р и с. 131. Размыв берега
Цымлянского
водохранилища

никают. В этом районе действует абразия так же, как в морях и озерах, за счет ветровых волн и колебаний уровня. В средней части водохранилища действуют паводковые течения. Переработка берегов происходит за счет их эрозионной деятельности. В верхней части водохранилища для периода паводка типичен речной режим с речной эрозией.

Большое разрушающее действие на берега водохранилища оказывает *волноприбой*, возникающий в результате *колебаний уровня*. Амплитуда этих колебаний может быть значительной, например, в крупных донских и волжских водохранилищах она достигает 2—7 м.

Существенное влияние на переработку берегов оказывает *морфология склонов*, их геолого-литологическое строение и свойства пород.

По морфологическим особенностям выделяют берега приглубые с крутизной склонов более 6° и отмельные — менее 6° . Наиболее сильно разрушаются приглубые берега, а на отмелях, наоборот, образуются наносы. В первом случае береговая линия отступает, во втором — образуются косы и отмели. Наиболее интенсивно разрушаются выступы берегов. В бухтах чаще происходит накопление осадков.

Скорость переработки берегов водохранилищ при всех прочих равных условиях возрастает с уменьшением высоты берегового откоса и определяется устойчивостью пород откоса против размыва. При средней высоте откоса 2—4 м над бичевником скорость разрушения береговой полосы за один сезон бывает: для лессовых пород — до 8 м и более; в различных песках — 2 м; в глинистых породах — до 1 м. Скорость волновой переработки берегов, сложенных коренными скальными породами, часто не имеет практического значения.

Водохранилища в большинстве случаев создают подпор грунтовым водам, и подземные воды оказывают дополнительное воздействие на склоны, способствующие активизации оползней, обвалов. Все эти процессы проходят особенно интенсивно при быстрой сработке уровня воды в водохранилище. Возможны также случаи заболачивания берегов или образования солончаков.

Для проектирования строительных объектов инженерно-геологические исследования должны обоснованно дать прогноз переработки берегов водохранилищ. При прогнозе оценивают: ширину полосы возможного размыва берега, интенсивность процесса переработки берега, т. е. ширину береговой полосы, которая будет размыва за 1 год, 10 лет, 20 лет и т. д.

В водохранилищах у берегов накапливаются осадки обломочного характера. К ним примешивается материал конусов выноса

оврагов, дельтовых отложений рек, впадающих в водохранилище, делювиально-пролювиальные осадки. На дне водохранилищ откладывается материал, который приносит с собой вода главного русла реки (глины, суглинки, илы и т. д.).

В зону переработки берегов нередко попадают здания, сооружения, сельскохозяйственные угодья. В этом случае их необходимо переносить в безопасное место или ограждать от влияния волн, разрушающих берег. Так, чтобы оградить ряд предприятий и жилых домов от разрушения в г. Саратове, пришлось крепить берег на протяжении 5 км. Для объектов нового строительства устанавливается безопасная граница возможного их приближения к берегу.

Существует ряд мер, которые позволяют активно бороться с переработкой берегов водохранилищ. За основу берут расчетные схемы, позволяющие прогнозировать характер переработки берегов. На основе этого разрабатывают защитные мероприятия, направленные против постоянных и временных подтоплений, повышения уровня грунтовых вод и переработки берегов водохранилищ.

Против переработки берегов водохранилищ можно применять те же сооружения, что и в борьбе с абразией морей и озер. Однако буны и волноломы хорошо выполняют свою роль лишь при небольших колебаниях уровня, а в водохранилищах они значительны вследствие периодической сработки горизонта воды. Поэтому для защиты берега и дамб обвалования лучше применять различного рода покрытия из камня, железобетонных плит, асфальта, геосинтетических материалов.

Переработка берегов по данным наблюдений, в частности, на Цимлянском и других водохранилищах наиболее интенсивно проходит в первые 2—3 года, когда берег продвигается до 20—50 м в год. Максимальное сезонное отступление берега до 350 м в течение первых двух лет заполнения отмечено на Рыбинском водохранилище. Затем этот процесс постепенно затухает.

Для выбора типа одежды покрытия большое значение имеет прогноз времени затухания процесса переработки. Например, асфальтовые покрытия следует применять в местах, где переработка берегов будет развиваться в ближайшее десятилетие. Каменные покрытия надежны и долговечны. Основным их достоинством является приспособляемость к деформациям откоса, но главный недостаток — трудоемкость работ. Железобетонные покрытия отличаются большей надежностью. Особенно перспективны конструкции из экологических геосинтетических материалов.

Болота. Избыточно увлажненные участки земной поверхности с развитой на них специфической растительностью называют бо-



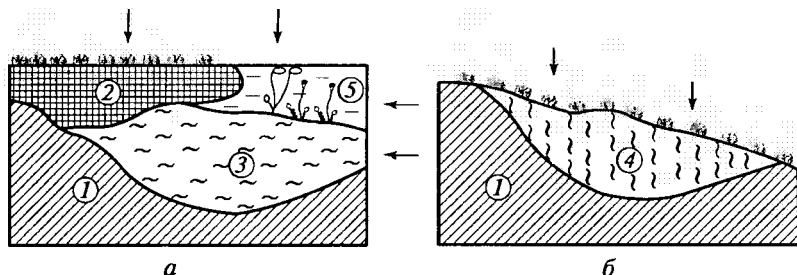
лотами (рис. 132). В России болота наиболее широко развиты в северных районах страны — европейской части Сибири. Хотя и в средней полосе их довольно много. В такой стране, как Белоруссия, болот исключительно много. Болота более свойственны берегам рек, старицам, побережьям озер, вечной мерзлоте.

По происхождению, т. е. по условиям питания водой, болота подразделяют на низинные, верховые и переходные (рис. 133).

Низинные болота питаются грунтовой, частично речной или озерной водой, а также дождевыми и тальными водами. Для *верховых болот* основным источником поступления воды являются атмосферные осадки и талые воды. *Болота переходного типа* имеют смешанное питание.

В соответствии с условиями питания водой низинные болота образуются *заторфовыванием водоемов*, а верховые болота — *заболочиванием суши*.

Заболоченные земли формируются на тех участках земной поверхности, где наблюдается уменьшение водопроницаемости грунтов



Р и с. 133. Типы болот:

a — низинное; *б* — верховое; 1 — минеральное дно; 2 — торф; 3 — ил; 4 — заболоченный грунт; 5 — вода (стрелки показывают питание болот атмосферной водой)

или ухудшение условий испарения воды, поверхностного ее стока и подземного дренирования. На этих участках грунтовые воды постоянно сохраняют свой высокий уровень. Их зеркало почти совпадает с поверхностью земли. Часты случаи появления болот в местах выхода на поверхность подземных вод, где отсутствует возможность оттока. Это *ключевые* болота. Они имеют малую площадь распространения, развитую болотную растительность с элементами формирования торфа. Когда такие болота располагаются на верхней и средней частях склонов, их называют *висячими*.

Болота и заболоченные земли, характерные для долин рек, называют пойменными. Заболоченные земли типичны также вечной мерзлоте, где их образование связано с оттаиванием верхнего слоя и отсутствием возможностей к оттоку воды.

Строительная оценка болот. Болота являются неблагоприятными местами для возведения зданий и сооружений. Для определения возможности строительства на болотах необходимо установить происхождение болота и его основные характеристики (глубину, рельеф минерального дна, площадь). Зная происхождение болота, можно разработать мероприятия по его осушению. Наиболее легко осушаются верховые болота. Глубина болотных отложений имеет решающее значение для выбора типа фундамента и всей конструкции сооружения. По глубине болота подразделяют на мелкие (до 2 м), средние (2—4 м) и глубокие (более 4 м). При строительстве на мелких болотах, когда фундамент будет опираться на минеральное дно, наибольшее значение имеет рельеф дна болота. Наиболее благоприятно болото с горизонтальным дном.

Глава 26

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛЕДНИКОВ

Геологические данные говорят о том, что в древние времена процессы оледенения Земли были значительными. Они происходили монократно, и первым, как предполагается, было Гуронское оледенение. На протяжении последних 500—600 тыс. лет на территории Европы насчитывают несколько больших оледенений. Ледники надвигались из района Скандинавии.

На Русской равнине в течение последних 240 тыс. лет произошло три крупных оледенения. Между оледенениями наступало потепление — межледниковые эпохи. Наиболее значительным счи-

тают днепровское оледенение, когда ледники Скандинавии достигли широты Среднего Дона. Расчеты показывают, что последние льды должны были оставить окрестности Санкт-Петербурга 12—16 тыс. лет назад. Существенное оледенение установлено также на территории Сибири и в других районах. Таким образом, оледенение четвертичного возраста проходили на глазах человека. Они не охватывали всю поверхность Земли. Каждая ледниковая эпоха связана с определенным участком земной поверхности.

В настоящее время льды занимают 10 % поверхности суши, 98,5 % ледниковой поверхности приходится на полярные области и лишь 1,5 % — на высокие горы. Различают три типа ледников: горные, плоскогорий и материковые.

Горные ледники образуются высоко в горах и располагаются либо на вершинах, либо в ущельях, впадинах, различных углублениях (рис. 134). Такие ледники имеются на Кавказе, Урале и т. д.

Лед образуется за счет перекристаллизации снега, формируя сначала зернистую массу — фирн, а затем собственно лед. Он обладает способностью к пластическому течению, образуя потоки в форме языков. Движение ледников вниз по склонам ограничивается высотой, где солнечного тепла оказывается достаточно для полного таяния льда. Для Кавказа, например, эта высота составляет на западе 2700 м, на востоке — 3600 м. Скорость движения горных ледников различна. На Кавказе, например, она составляет 0,03—0,35 м/сут, на Памире — 1—4 м/сут.

Ледники плоскогорий образуются в горах с плоскими вершинами. Лед залегает нераздельной сплошной массой. От него по ущельям спускаются ледники в виде языков. Такого типа ледник, в частности, располагается сейчас на Скандинавском полуострове.

Материковые ледники распространены в Гренландии, Шпицбергене, Антарктиде и других местах, где сейчас протекает современное оледенение.

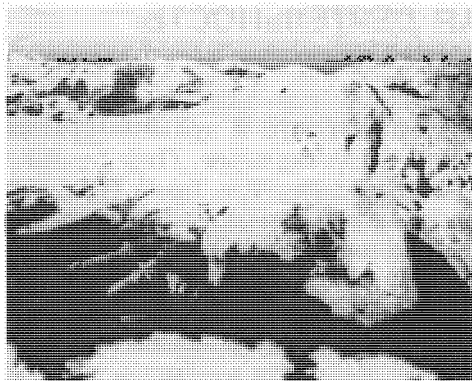


Рис. 134. Ледник в горах

менная эпоха оледенений. Лды залегают сплошным покровом, мощностью в тысячи метров. В Антарктиде слой льда достигает 4200 м, в Гренландии — более 2400 м. Скорость движения льда в сторону океана в Гренландии составляет 4—38 м/сут. На побережье льды раскалываются. Огромные глыбы льда (айсберги) ветер и течения уносят в открытый океан, где они со временем тают.

Геологическая деятельность льда велика и обусловлена главным образом его движением, несмотря на то, что скорость течения льда примерно в 10 000 раз медленнее, чем воды в реках при тех же условиях.

Разрушительная работа ледников. При своем движении лед истирает и вспахивает поверхность земли, создавая котловины, рытвины, борозды. Эта разрушительная работа совершается под действием тяжести льда. Только при толщине льда 100 м каждый квадратный метр ложа ледника испытывает давление 920 МПа. При большей мощности льда давление резко возрастает. В лед вмораживают обломки пород. При движении ледника эти обломки, в свою очередь, оказывают разрушающее действие на поверхность земли.

В результате обработки льдом поверхности пород образуются своеобразные округленные формы скал, получившие наименование «бараньих лбов», а также «курчавых скал», «штрихованных валунов» и т. д.

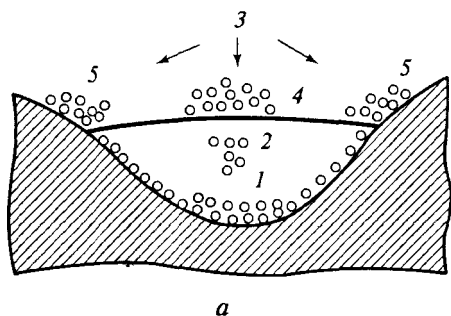
Двигаясь по ущельям или другой какой-либо наклонной плоскости, ледники захватывают продукты разрушения путем вмораживания их в лед. Наличие трещин благоприятствует проникновению обломков внутрь и в нижнюю часть ледников. Таким способом обломочный материал передвигается вместе с ледником.

При таянии льда весь обломочный материал отлагается. Образуются значительные по мощности *ледниковые отложения*.

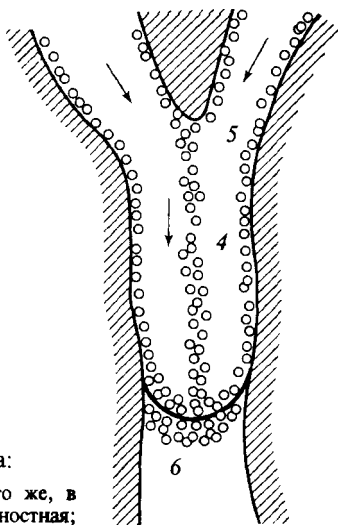
Обломочный материал, который находится в движении или уже отложился, носит название «*морены*». Средидвигающегося моренного материала различают морены *поверхностные (боковые и срединные), внутренние и донные* (рис. 135). Отложившийся материал получил название береговых и конечных морен.

Береговые морены представляют собой валы обломочного материала, расположенные вдоль склонов ледниковых долин. *Конечные морены* образуются на месте окончания ледников, где происходит их полное таяние.

Ледниковые отложения иногда образуют *друмлины* — холмы эллипсоидальной формы в несколько десятков метров высоты, состоящие из отложений донной морены. В их состав входят, главным образом, моренные глины с валунами.



a



б

Р и с. 135. Морены горного ледника:

a — язык ледника в поперечном разрезе; *б* — то же, в плане; 1 — донная; 2 — внутренняя; 3 — поверхностная; 4 — срединная; 5 — боковая; 6 — конечная

Моренные отложения представляют собой грубый неоднородный, отсортированный, неслоистый обломочный материал. Чаше всего это валунные опесчаненные красно-бурые суглинки и глины или серые разнозернистые глинистые пески с валунами. Морены залегают *покровами* и характеризуются мощностью в десятки метров. Конечные моренные гряды имеют высоту до 30—40 м. Среди их обломков можно видеть представителей всех пород, по которым прошел ледник. Донные морены состоят из неслоистых и неоднородных по составу валунных глин и суглинков.

При таянии ледника образуются постоянные потоки талых вод, которые размывают донную и конечную морены. Вода подхватывает материал размываемых морен, выносит за пределы ледника и откладывает в определенной последовательности. Вблизи границ ледника остаются крупные обломки: дальше осаждаются пески и еще дальше — глинистый материал (рис. 136). Такие водноледниковые отложения получили название *флювиогляциальных*.

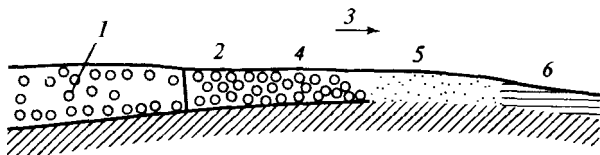
При наступлении или отступлении ледника последовательно смещаются зоны накопления материала по его крупности. Так, если на глины накладываются пески и более крупные обломки, то значит ледник наступал, продвигался вперед, область оледенения расширялась. Наложение на крупные обломки и пески глинистых осадков свидетельствует о периоде отступления ледника. Характерные разрезы ледниковых отложений показаны на рис. 137.

Флювиогляциальные отложения отличаются сравнительной отсортированностью и слоистостью. Они обычно представлены тол-

шами песка, гравия, галечника, а также глинами и покровными суглинками, которые имеют широкое распространение как в пределах ледниковых отложений, так и далеко за границами оледенения. Мощность покровных суглинков достигает многих метров.

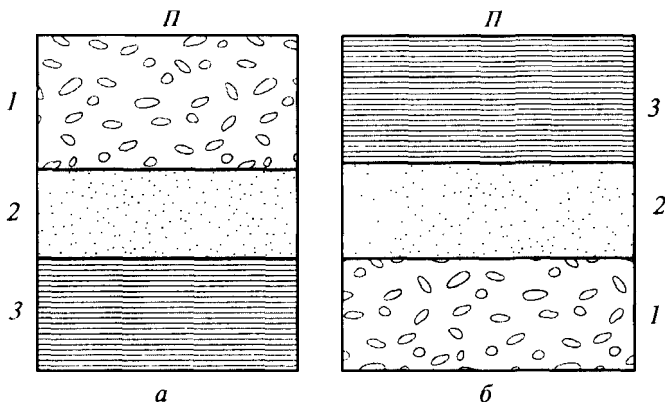
Флювиогляциальные отложения создают характерные формы рельефа: озы, камы и зандровые поля. Накопление обломочного материала (песка, гравия) в виде высоких узких валов получило название *озы*. Длина озов колеблется от сотни метров до десятков километров, высота — 5—10 м. *Камы* представляют собой беспорядочно разбросанные холмы, состоящие из слоистых отсортированных песков, супесей с примесью гравия и прослоев глины. Широкие пологоволнистые равнины, расположенные за краем конечных морен, называют *зандровыми* полями: в их состав входят слоистые пески, гравий и галька.

В озерах, располагающихся перед ледниками, накапливаются мелкозернистые осадки и так называемые *ленточные глины*, со-



Р и с. 136. Схема образования флювиогляциальных отложений:

1 — ледник; 2 — конечная морена; 3 — поток талых ледниковых вод; 4—6 — флювиогляциальные отложения (крупные обломки, пески, глины)



Р и с. 137. Разрезы толщ ледниковых отложений при наступлении (а) и отступлении (б) ледников:

П — поверхность суши; материал: 1 — крупнообломочный; 2 — песчаный; 3 — глинистый

стоящие из чередования темных глинистых прослоек и более светлых прослоек из опесчаненных глин. Формирование этих отложений связано с сезонными изменениями поступающего терригенного материала, сносимого летом.

Ледниковые образования четвертичного периода обозначаются общим индексом gQ , а флювиогляциальные отложения fgQ .

Строительные свойства ледниковых отложений. Моренные и флювиогляциальные отложения являются надежным основанием для сооружений различного типа. Валунные суглинки и глины, испытавшие на себе давление мощных толщ льда, находятся в плотном состоянии и в ряде случаев даже переуплотнены. Пористость валунных суглинков не превышает 25—30 %. На валунных суглинках и глинах здания и сооружения испытывают малую осадку. Эти грунты слабоводопроницаемы и часто служат водупором для подземных вод. Такими высокими прочностными свойствами обладают практически все разновидности отложений морен. Валунники с песком и валунные пески с гравием и галькой водопроницаемы и водоносны. Это в известной мере отрицательно влияет на строительные объекты, но, с другой стороны, подземную воду успешно используют для питьевых и технических целей.

Флювиогляциальные отложения со строительной точки зрения, хотя и уступают моренным глинистым грунтам по прочности, но также являются надежными основаниями, для которых успешно используют различные песчано-гравелистые и глинистые отложения озов и зандровых полей. Некоторое исключение составляют покровные суглинки и ленточные глины. Покровные суглинки легко размокают. Ленточные глины достаточно плотны, слабо водопроницаемы, но могут в условиях насыщения водой быть текучими, а также имеют некоторую анизотропию в свойствах вдоль и «вкрест» слоистости.

Отрицательным качеством всех глинистых ледниковых отложений является наличие случайных вкраплений отдельных, иногда очень крупных валунов. Например, при проходке туннеля в Минске на его оси был обнаружен валун диаметром более 10 м. Это может привести к неравномерной осадке и деформациям зданий. При инженерно-геологических изысканиях нередки случаи, когда эти валуны ошибочно принимают за коренные скальные породы. Ошибок можно избежать проведением более детальных разведочных работ с использованием методов электроразведки.

Ледниковые отложения успешно используют как строительный материал (камень, пески, глины); пески озов, камов и зандровых полей пригодны для возведения насыпей и для изготовления бетона. Валунные — хороший строительный камень. Имеются примеры использования валунов для изготовления монолитных пьедесталов памятников (например, памятник Петру I в Санкт-Петербурге).

Глава 27

ДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД НА СКЛОНАХ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Горные породы, слагающие склоны, очень часто находятся в неустойчивом положении. При определенных условиях и под влиянием гравитации они начинают смещаться вниз по склонам рельефа. В результате этого возникают осыпи, курумы, обвалы и оползни.

Осыпи. На крутых склонах, особенно в горных районах, где развиты скальные породы, активно действует процесс физического выветривания. Породы растрескиваются и обломки скатываются вниз по склонам до места, где склон выполаживается. Этот процесс называется осыпанием. Так у подножья склонов накапливаются продукты осыпания — глыбы, щебень, более мелкие обломки — и образуются валы — осыпи (рис. 138). Мощность осыпей различна и колеблется от нескольких до десятков метров.

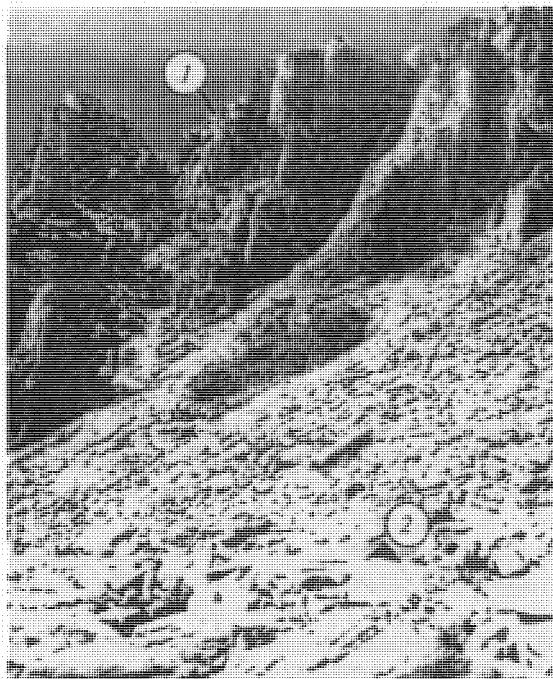


Рис. 138. Осыпи в горах:

1 — коренные породы; 2 — накопленный материал осыпи

В состав осыпей входят обломки тех горных пород, которые слагают склоны. Вид породы зачастую определяет крупность обломков осыпи. Так, массивные кристаллические породы дают крупнообломочные (глыбовые) осыпи. Менее прочные породы образуют среднеобломочные (щебеночные) и мелкообломочные (дресвяные) осыпи. Сланцы и осадочные породы (известняки, мергели, песчаники и др.) порождают разнообломочные накопления, состоящие из обломков различной формы (плитчатой, пластинчатой и т. д.) и размеров.

Характерной особенностью осыпей является их подвижность. По признаку подвижности их подразделяют на действующие, находящиеся в стадии интенсивного движения, затухающие и неподвижные.

Действующие осыпи лишены всякой растительности. Масса обломков нарастает и находится в рыхлом, весьма неустойчивом положении и приходит в движение за счет увеличения общего веса, сильного увлажнения, подрезки нижней части осыпи дорогами, от землетрясений и даже от более мелких сотрясений, возникающих при работе механизмов или движении транспорта. Существует мнение, что некоторые осыпи начинают двигаться от сильного звука (например, крика).

Движение осыпей. Наибольшие скорости движения осыпей отмечены в период снеготаяния и дождей. Наблюдения показывают, что осыпи в послойном разрезе передвигаются с различной скоростью. Скорость верхних слоев может достигать более 1 м/год, нижних слоев и в целом всего массива осыпи — несколько десятков сантиметров в год. На скорость движения влияют также количество поступающего материала, угол естественного откоса материала, из которого состоит осыпь, и угол поверхности осыпи.

Угол естественного откоса материала зависит от его крупности. В сухом состоянии крупно- и среднеобломочный материал имеет средний угол откоса $\psi = 35...37^\circ$, а мелко- и разнообломочный — $30...32^\circ$. Значение угла откоса осыпи связано с крутизной склонов, количеством поступающего материала и его влажностью.

Зависимость между углами поверхности осыпи α и естественным откосом ψ обломочного материала характеризует *степень подвижности осыпи*

$$K = \alpha / \psi,$$

где K — коэффициент подвижности осыпи.

По величине K осыпи разделяют на четыре типа (табл. 35).

Классификация осыпей по величине K

Тип	Характеристика осыпей	Коэффициент подвижности, K
I	Подвижные, «живые»	1,0
II	Достаточно подвижные, признаков затухания обычно нет	0,7—1,0
III	Слабоподвижные, затухающие, имеющие слабое питание	0,5—0,7
IV	Относительно неподвижные, уплотнившиеся, поступления нового материала не наблюдается	Менее 0,5

Осыпи первого и второго типов относят к *действующим*. Они представлены свежей, неуплотнившейся массой обломков. «*Живые*» осыпи характерны для склонов круче 65° , достаточно подвижные осыпи с крутизной от 45 до 65° .

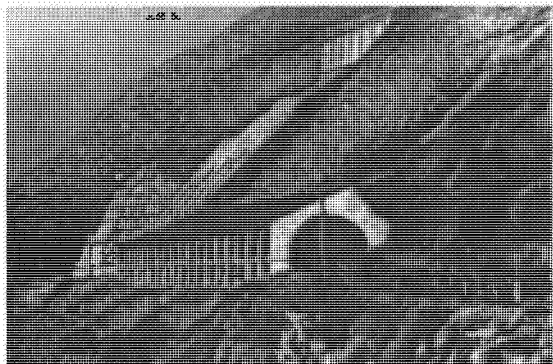
Для *затухающих осыпей* свойственно развитие растительности (кустарники, слабый дерновый слой). Неподвижные осыпи полностью задернованы, покрыты кустарником и даже лесом.

Иногда осыпи превращаются в *осовы* — особую разновидность оползней. Это происходит при насыщении осыпей водой. При смачивании масса обломков уменьшает угол естественного откоса, K увеличивается и вся масса осыпи «осовывается» по смоченной поверхности склона.

Осыпи значительно осложняют строительство. Обломочный материал засыпает сооружения, полезные площади. Для решения вопроса о защите сооружений от осыпей очень важно знать скорость их движения. Обычно ее удается определить длительными наблюдениями. С небольшими щебеночными осыпями борьба ведется довольно простыми способами, которые сводятся к уборке той части обломочного материала, который расположен выше сооружения по склону. Этот способ достаточно трудоемок и применяется при большой подвижности осыпей и особой значимости сооружений.

Из инженерных сооружений применяют улавливающие и подпорные стенки, устраивают козырьки или сетки над дорогами, но эти мероприятия спасают лишь от отдельных падающих камней.

В особо опасных местах, где развиты мощные медленно со скальзывающие осыпи, устраивают галереи и тоннели для дорог (рис. 139). При борьбе с осовами, кроме всех прочих мероприятий, применяют методы осушения, особенно в тех случаях, когда источник замачивания располагается в верхней части склона. На особо опасных участках организуют службу наблюдения.



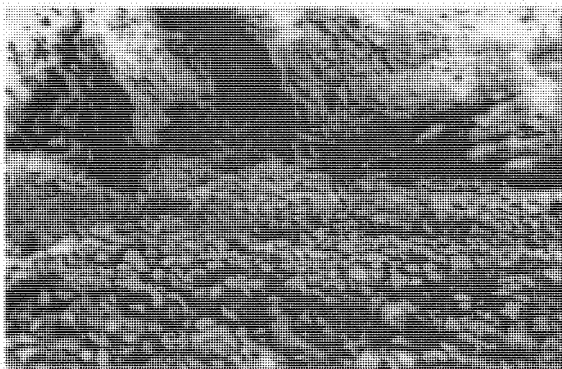
Р и с. 139. Галерея для защиты дороги от осыпи

Осыпи обломочно-щебенистого состава часто находят широкое применение, как хороший строительный материал.

Курумы. В результате разрушения скальных пород у подошвы склонов скапливаются крупные обломки и глыбы. По своему местоположению обломки более всего тяготеют к пологим склонам, что свойственно ложбинам и днищам долин. Так образуются каменные россыпи, или *курумы* (рис. 140), образуя с ними единую массу глыб от вершины до подошвы склона. Мощность каменных россыпей колеблется от нескольких метров до 15 м на дне долин.

Курумы распространены в тех же районах, что и осыпи, но особенно они значительны в области вечной мерзлоты (Восточная Сибирь, Дальний Восток) и в местностях с суровым климатом (Урал, Алтай, Саяны и т. д.).

Характерной особенностью курумов является передвижение. Масса обломков, огромных глыб постоянно ползет вниз по склону, так как глыбы лежат на глинисто-суглинистом слое. Когда



Р и с. 140. Курумы на склоне речной долины

курум движется по ложбинам, его называют *каменным потоком*. Скорость движения курумов от сантиметров до десятков сантиметров в год. Наибольшая скорость свойственна участкам с обильным смачиванием водой глинисто-суглинистой подстилки.

Курумы подразделяют на *действующие* и *затухшие*. В первом случае курумы очень подвижны. Пустоты между глыбами не заполнены. Растительность отсутствует. В затухших курумах никаких следов движения нет. Россыпь задернована, покрыта растительностью.

Курумы при своем движении разрушают сооружения, засыпают выемки и полезные площади. Легче всего остановить движение отдельных глыб, но значительно труднее удержать всю толщу курума, занимающего большую площадь и имеющего выходы грунтовых вод. Наиболее часто в борьбе с курумами используют взрывные работы. Остановить курумы можно осушением их глинистой подстилки. Для этого в верхней части склона отводят ручьи, перехватывают поверхностные воды нагорными канавами, в отдельных случаях используют дренажи.

В районе подвижных курумов дороги переносят на другие склоны, иногда их проводят в тоннелях или галереях под курумами.

Обвалы. Обрушение более или менее крупных масс горных пород с опрокидыванием и дроблением получило название обвала (рис. 141).

Обвалы возникают на крутых склонах (более $45-50^\circ$) и обрывах естественных форм и рельефа (склоны речных долин, ущелья, побережья морей и т. д.), а также в строительных котлова-

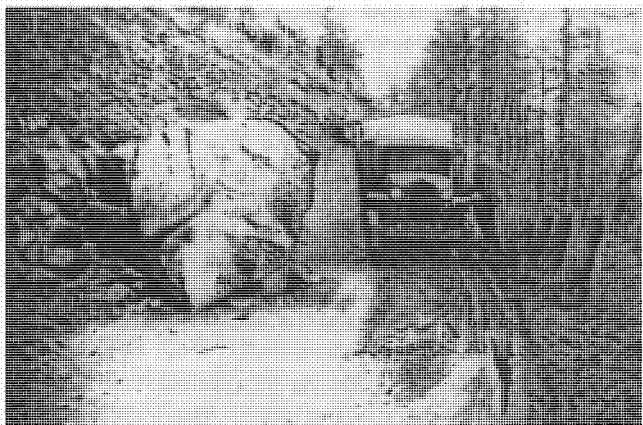
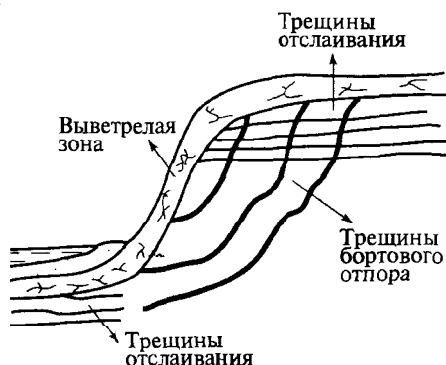
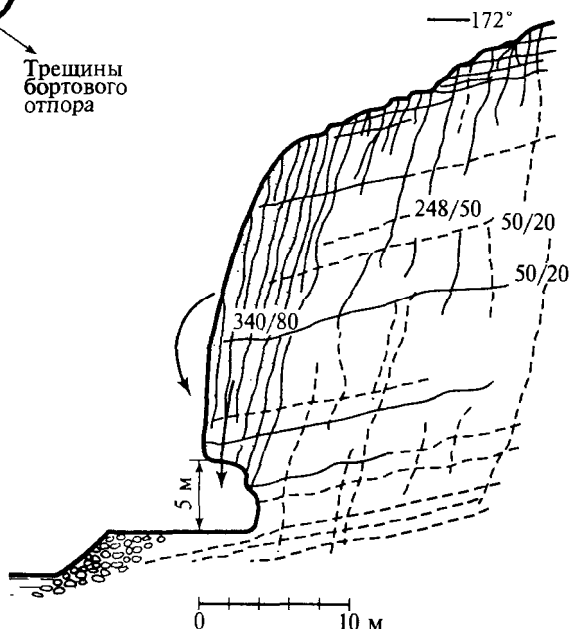


Рис. 141. Обвал в горах



Р и с. 142. Трещины бортового отпора и трещины отслаивания в склонах (по А.Г. Лыкошину)

Р и с. 143. Формирование обвала в горных условиях из скальных пород



нах, траншеях, карьерах. При крупных обвалах, как это бывает в горах, масса обломков устремляется вниз по склону, дробясь на более мелкие и увлекая за собой попутный рыхлый материал. Образуется облако пыли, масса обломков падает в долины, разрушая здания, дороги, запруживая реки.

Наиболее часто обвалы бывают связаны с трещиноватостью пород, подмывом или подрезкой склонов, избыточным увлажнением пород, перегрузками обрывов, землетрясениями. Обвалы могут возникать вследствие глубокого растрескивания пород после неправильно выполненных взрывных работ, неудачного заложения выработок относительно напластования и направления трещиноватости (рис. 142, 143).

В большинстве случаев обвалы проявляются в периоды дождей, таяния снега, весенних оттепелей. Атмосферные и талые воды ослабляют связи в выветрелых породах, утяжеляют массы пород, оказывают давление на стенки трещин.

По объему и характеру обрушения обвалы весьма различны. Это могут быть отдельные глыбы или масса пород в десятки кубических метров. Такие маленькие обвалы более свойственны строительным выемкам. В природных условиях нередко наблюдаются катастрофические обвалы, когда обрушиваются миллионы кубических метров пород. История знает много таких примеров. Гигантский обвал произошел в 1911 г. на Памире. Обрушилось свыше 7 млрд т пород. В результате запруживания реки образовалось Сарезское озеро. Таким же путем возникло озеро Рица на Кавказе. Известен катастрофический случай в Альпах, когда обвал почти мгновенно засыпал деревню с 2400 жителями.

Одной из разновидностей обвалов являются *вывалы* — обрушения отдельных глыб и камней из скальных пород в откосах выемок, полувыемок и отвесных склонов. Принципиально вывалы отличаются от обвалов тем, что обломки падают свободно, не скользя по склону. Вывалы возникают чаще всего в крупнозернистых породах с большим количеством слюды, значительно выветрелыми полевыми шпатами или в породах с ярко выраженной слоистостью.

Предвестниками обвала являются расширение существующих и появление новых трещин, расположенных параллельно обрыву, глухой шум, треск, иногда другие явления.

Борьба с обвалами, особенно крупными, весьма затруднительна. Все мероприятия по борьбе с ними сводятся к предупреждению их возникновения и осуществлению защитных мероприятий. На участках, где возможны крупные обвалы, строительство проводить опасно. Для предупреждения малых обвалов одним из наиболее распространенных способов, как в случаях с лавинами, является искусственное обрушение склонов при помощи взрывов небольшой мощности или путем забивки клиньев в трещины обвалоопасной породы. Это позволяет откалывать отдельные куски. Способ «клинования» более предпочтителен, так как он безопаснее взрывного, неверно рассчитанный по силе взрыв может сам вызвать крупный обвал. Устраивают подпорные и улавливающие стенки, рвы, траншеи, отводят поверхностные воды.

На опасных участках дорог нередко организуют службу наблюдения, работают бригады по зачистке склонов, уборке камней. От вывалов нависающих глыб и массивов пород применяют опоры из железобетонных столбов или стенок.

Успешно можно предупреждать обвалы в строительных выемках. Для этого производят облицовку откосов, ставят подпорные и временные шпунтовые стенки, подпорные щиты. Не следует на длительное время котлованы оставлять открытыми, особенно в период дождей; необходимо отводить поверхностные воды, нель-

зя перегружать края выемок и подрезать склоны без учета устойчивости пород.

Оползни — это скользящее смещение горных пород на склонах под действием гравитации и при участии поверхностных или подземных вод.

Оползни — явление частое и свойственное склонам долин, оврагов, балок, берегам морей, искусственным выемкам (рис. 144—147). Они разрушают здания и сооружения на самих склонах и ниже их.

Большой ущерб ежегодно приносят оползневые явления на берегах Черноморского побережья Кавказа, в долинах Волги и многих других рек и горных районов.

Известно немало примеров оползневых явлений катастрофического характера. Так, 9 октября 1963 г. на севере Италии оползень объемом 240 млн м³ разрушил плотину Вайонт (рис. 148) высотой 265,5 м. Погибло более 3000 человек — это наиболее известный «классический» пример.

На участке дороги Алушта — Никита в Крыму при строительстве троллейбусной дороги возникли 20 новых оползней и активизировались 5 старых, и оползневые участки составили около 10 % протяженности дороги.



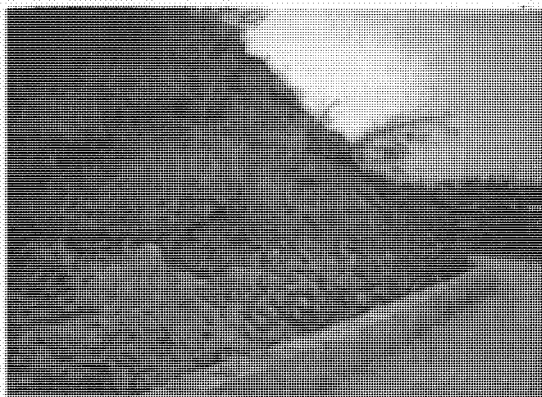
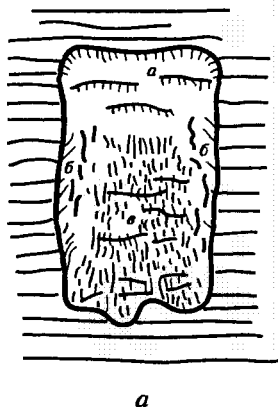
Р и с. 144. Деформация здания от оползня

В результате подрезки склона на месте слияния р. Зеравшан и р. Фана-Дарья у пос. Айни 24 февраля 1964 г. на высоте 1400 м на склоне крутизной 33° , сложенном палеозойскими песчаниками, сланцами, древней корой выветривания мощностью до 60 м, произошел оползень объемом 20 млн м^3 , который образовал запруду на р. Зеравшан длиной 850 м, шириной 650 м и высотой до 150 м.

Оползень, который произошел в районе Монтаро (Перу) в апреле 1974 г., переместил 2,8 млрд м^3 горных пород, общий ущерб населению составил 1 млрд долларов.



Р и с. 145. Оползень на склоне, покрытом лесом



Р и с. 146. Оползневые трещины:

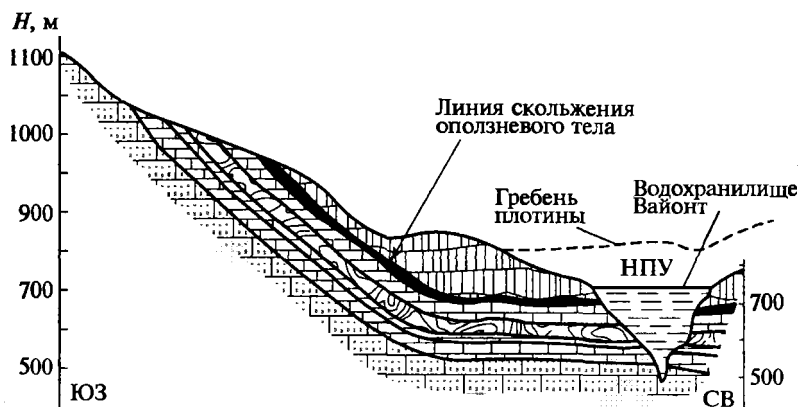
а — верхние трещины оползня — трещины отрыва; *б* — боковые трещины оползня — трещины скалывания



Р и с. 147. Оползень на железной дороге в Ростове-на-Дону

Деформации в результате оползания подвергаются насыпи шоссейных и железных дорог, колодцы, дренажные галереи, трубы, водосливные лотки.

Внешний облик оползневых склонов имеет ряд признаков, по которым всегда можно установить, что склоны находятся в неустойчивом состоянии. Там, где происходит отрыв массы пород, образуется серия концентрических трещин, ориентированных вдоль склонов. Сползание пород приводит к бугристости склонов, особенно в их нижней части. За счет давления сползающих пород у подошвы склонов формируются валы выдавливания. Между валами и буграми при определенных условиях скапливаются поверхностные и подземные воды. Это вызывает заболачен-



Р и с. 148. Поперечный профиль оползневоего склона борта водохранилища плотины Вайонт в Италии (по М.Васичу)

ность склонов. При активном сползании на склонах хорошо видны смещенные земляные массы и террасовидные уступы. Очень часто внешним признаком оползней является так называемый «пьяный лес» и разорванные, искривленные, саблевидные стволы деревьев. За счет сползания пород стволы деревьев теряют свою вертикальность в различных направлениях, а иногда даже расщепляются. Аналогичным образом теряют вертикальность столбы телефонной связи и электролиний, заборы, стены. На оползневых склонах можно наблюдать разрушенные дома или здания со значительными трещинами. Характерной чертой этих трещин является наибольшее раскрытие в нижней части здания по склону.

Для возникновения и развития оползней необходимы некоторые определенные условия. Среди них наибольшее значение для склонов имеют: высота, крутизна и форма, геологическое строение, свойства пород, гидрогеологические условия.

При всех равных условиях крутые склоны более подвержены оползням, чем пологие. Так, установлено, что склоны с крутизной менее 15° оползней не образуют. Оползни свойственны склонам выпуклой и нависающей конфигурации.

Большое влияние на развитие оползневых процессов оказывает геологическое строение и литологический состав пород склона. Наиболее часто оползни проявляются при залегании слоев с падением в сторону склона, например оползни Черноморского побережья (Туапсе—Сочи). Типичными оползневыми породами следует считать различные глинистые образования, для которых характерно свойство «ползучести». Такой процесс, например, происходит на склонах лессовых толщ. Подавляющее большинство оползней приурочено к выходам подземных вод.

Устойчивость склона (или степень устойчивости) определяется соотношением сил, стремящихся столкнуть массу пород вниз по склону, и сил, которые сопротивляются этому процессу (рис. 149—151). Устойчивость земляных масс на склонах выражается уравнением

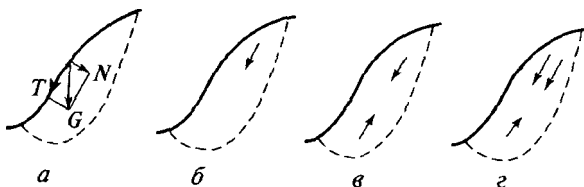
$$T = N \operatorname{tg} \varphi + CF,$$

где T — сдвигающая составляющая веса массива; N — нормальная составляющая веса; F — поверхность скольжения оползня; C — сцепление; $\operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент внутреннего трения.

Степень устойчивости склона определяют коэффициентом

$$K_{\text{уст}} = (N \operatorname{tg} \varphi + CF) / T.$$

Числитель отражает сумму сил, которые сопротивляются возникновению сползания, в знаменателе — сталкивающие силы.



Р и с. 149. Силы, действующие на склоне:

a — параллелограмм сил; *б* — при $K_{уст} < 1$; *в* — при $K_{уст} = 1$; *г* — при $K_{уст} < 1$

Сопротивление оползню оказывают сцепление и внутреннее трение пород. К сдвигающим силам относят вес пород, расположенных на них зданий и сооружений, гидростатические и гидродинамическое давление подземных вод и т. д.

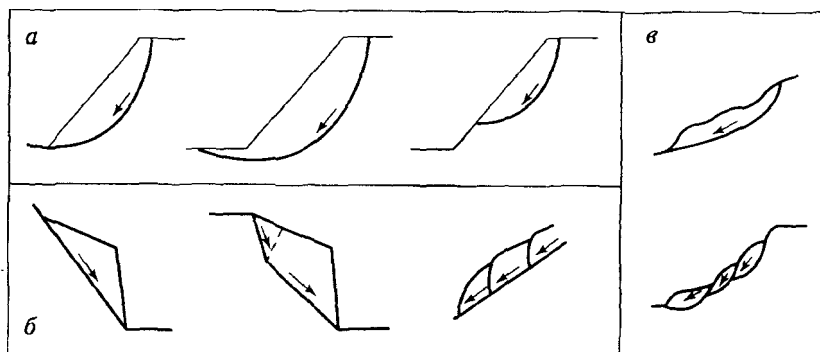
При $K_{уст} > 1$ склон находится в устойчивом состоянии; при $K_{уст} = 1$ в предельном равновесии; при $K_{уст} < 1$ — в неустойчивом положении и даже происходит оползание.

Для того чтобы склон стал неустойчивым и земляные массы начали сползать, необходимо дополнительное воздействие. Сползание может возникнуть под действием природных процессов или от производственной деятельности человека.

Основными причинами оползней следует считать три группы процессов:

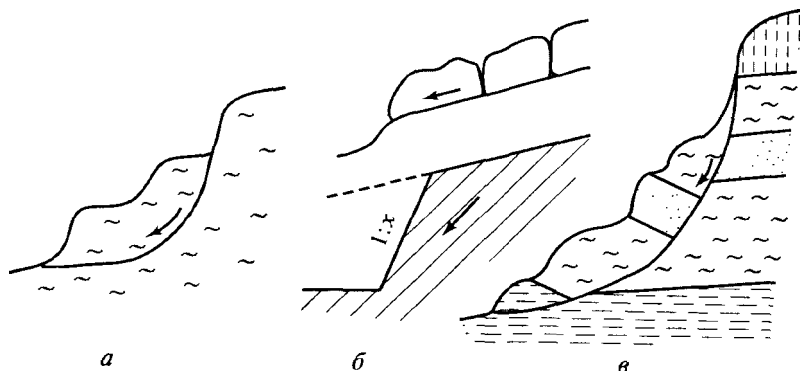
1. Процессы, изменяющие внешнюю форму и высоту склона: колебания базиса эрозии рек, оврагов; разрушающая работа волн и текучих вод; подрезка склона искусственными выемками.

2. Процессы, ведущие к изменению структур и ухудшению физико-механических свойств, слагающих склон пород за счет



Р и с. 150. Схемы различных типов оползней (по М.Васичу):

a — асцентные; *б* — консеквентные; *в* — инсеквентные



Р и с. 151. Характерные типы поверхностей («линий») скольжения оползневых тел (по М.Васичу):

а — круглоцилиндрические; *б* — прямолинейные; *в* — «неправильные»

процессов выветривания, увлажнения подземными, а также дождевыми, талыми и хозяйственными водами, за счет выщелачивания водорастворимых солей и выноса частиц текучей водой с образованием в породе пустот (суффозия).

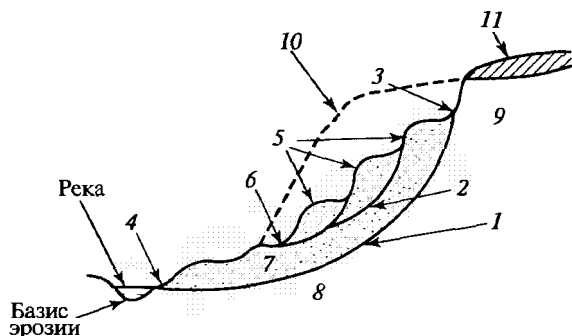
3. Процессы, создающие дополнительное давление на породы, слагающие склон: гидродинамическое давление при фильтрации воды в сторону склона; гидростатическое давление воды в трещинах и порах породы; искусственные статические и динамические нагрузки на склон; сейсмические явления.

Из перечисленного видно, сколь многообразны условия и причины возникновения оползней. При этом следует помнить, что каждый случай образования оползня может быть связан одновременно с несколькими причинами.

В оползне выделяют следующие элементы (рис. 152):

- оползневое тело;
- поверхность скольжения, форма которой может быть цилиндрической, волнистой, плоской;
- бровка срыва, там, где произошел отрыв оползневого тела от коренного массива пород;
- террасовидные уступы или оползневые террасы (не следует смешивать с речными террасами);
- вал выпучивания, разбитый трещинами;
- подошва оползня — место выхода на поверхность плоскости скольжения, оно может располагаться выше и ниже подошвы склона или быть на его уровне.

Граница оползневого тела в плане может быть выражена четко в виде резкой бровки. Однако нередки случаи, особенно для пластичных глинистых пород, когда эта граница трудно различима.

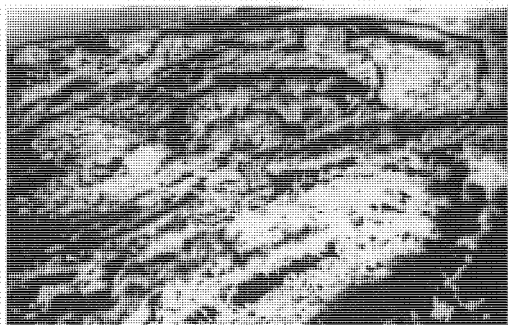


Р и с. 152. Основные элементы оползневого цирка (по М.Васичу):

1 — наиболее глубокая линия скольжения; 2 — верховая линия скольжения; 3 — оползневый уступ (обрыв); 4 — «язык» оползня; 5 — смещенные мелкие тела (части оползня); 6 — оползневые террасы с уклоном к оползню; 7 — тело оползня; 8 — подстилающие породы; 9 — породы (коренные) оползневого склона; 10 — форма склона до оползня; 11 — делювий

В рельефе оползневые тела могут иметь вполне определенные и четко выраженные *формы*. В однородных породах типа лессовидных суглинков наиболее распространены *оползневые цирки* (рис. 153). Если в склоне развито несколько оползневых цирков, то между ними располагаются *межоползневые гребни*. На склонах речных долин оползни нередко образуют *террасовидные уступы* (оползневые террасы), наклоненные в сторону, обратную падению склона.

Оползневые тела могут иметь сложное строение. На одном и том же участке может быть одна или несколько поверхностей скольжения. В этом случае различают оползни *одно-, двух- и многоярусные*. В однородных грунтах плоскость скольжения приобретает примерно форму цилиндрической поверхности, в слож-



Р и с. 153. Оползневый цирк.

но построенных склонах она может совмещаться с плоскостями напластования или, наоборот, пересекать их (рис. 154).

Скорость движения оползневого тела различна. Принципиально все оползни можно разделить на *соскальзывающие* и *постепенно сползающие*. При соскальзывании тело оползня перемещается мгновенно, в один прием. Большинство оползней смещается постепенно, хотя и с различной скоростью — от долей миллиметра в сутки до нескольких десятков метров в час.

Движение медленных оползней определяют по наблюдениям за реперами, установленными в теле оползня и за его пределами, а также по маякам, которые укрепляют по обеим сторонам трещин.

Классификация оползней предусматривает выделение собственно оползней, а также их разновидностей в виде сплывов (или сплывин) и оползней-обвалов.

Собственно оползни происходят только путем скольжения земляных масс по склону. Плоскость скольжения обычно располагается на значительных глубинах (многие метры).

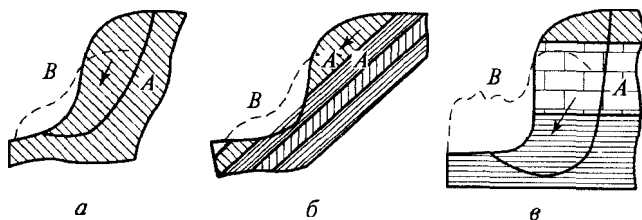
Сплывы — смещение земляных масс на небольшой площади (сотни квадратных метров) вследствие водонасыщения верхних слоев. Глубина залегания плоскости скольжения до 1 м. Свойственны весеннему периоду года.

Оползни-обвалы представляют собой смещение земляных масс одновременно по типу скольжения и обвала, типичны для крутых склонов.

Борьба с оползнями представляет сложную задачу. Это связано с многообразием причин, порождающих этот процесс.

Противооползневые мероприятия назначают с учетом активности оползня. Различают оползни действующие и недействующие.

Недействующие оползни движений не проявляют. Сползание произошло достаточно давно и поверхность оползневого тела и



Р и с. 154. Развитие оползней и положение плоскостей скольжения в зависимости от геологического строения склона:

а — в однородных породах; *б* — при наклонном залегании слоев пород; *в* — при выдавливании глин из-под скальных пород; *А* — линия скольжения; *В* — форма склона после схода оползня

следы смещения сглажены геологической деятельностью атмосферных вод. При подработке такие склоны могут приходить в движение.

Действующие оползни требуют применения противооползневых мероприятий. Выбор того или иного мероприятия или комплекса мероприятий зависит от причины, которая порождает данный оползень (рис. 155).

Противооползневые мероприятия. Борьба с оползнями во многих случаях оказывается чрезвычайно сложной, дорогостоящей и зачастую неэффективной. Для успешного применения противооползневых мероприятий необходимо высококачественное выполнение инженерно-геологических изысканий для оценки фактической степени устойчивости склона. Эти изыскания выполняют согласно СНиП 11.02—96 и СП11.105—97.

Ряд специалистов отмечает, что для успешной реализации противооползневых мероприятий необходима разработка вопросов специальной стратегии и тактики. К первым относят:

- установление природы возможных форм нарушения устойчивости склона и разработку рациональных расчетных схем;
- количественную оценку (иногда с некоторым приближением) степени устойчивости склона (определение коэффициента устойчивости — запаса);
- выявление наиболее эффективных путей повышения степени устойчивости склона до необходимых пределов;
- проектирование откосов с наперед заданной степенью устойчивости.

Вторые заключаются в выборе в пределах наличных возможностей наиболее эффективных для конкретного случая противооползневых мероприятий и сооружений, не забывая при этом о преимуществах «превентивных» профилактических методов.



Р и с. 155. Деформации подпорной стены в подошве оползня

Противооползневые мероприятия подразделяют на два вида:

- *активные*, способные воздействовать на основную причину оползня путем полного пресечения или некоторого ослабления ее действия, в частности, снятие перенапряжения грунтовой толщи за счет разгрузки любого вида;

- *пассивные*, направленные на повышение значимости факторов сопротивления, влияющих положительным образом на степень устойчивости, например, пригрузка, закрепление любыми способами.

Мероприятия по обеспечению охранной обстановки касаются в основном ограничений деятельности человека в районе склона:

- по зеленому поясу (запрещение рубки леса, корчевания и разработки участков под огороды, уничтожение кустарников, травяного покрова);

- по строительству (установление границы предельной застройки, типа и веса сооружений, снос существующих сооружений, замедление темпов строительства);

- по земляным работам (запрещение любых разработок в пассивной зоне — у подножия, в загрузке склона в активной зоне — у бровки, увеличение крутизны откоса, вскрытие неустойчивых грунтов);

- в области водного хозяйства (запрещение спуска поверхностных вод и поливов, содержание в порядке водоотводящих и осушительных устройств, водопроводно-канализационных систем, заделка ям, трещин, установление уровней и темпов сброски вод, омывающих откос);

- по динамическим воздействиям (запрещение применения взрывных работ, забивки свай, работы транспортных средств), то же относится и к вибрационным воздействиям.

Берегозащитные мероприятия и сооружения на водотоках и водоемах у подножия склона включают отвод и выравнивание русел, устройство защитных покрытий, возведение лотков, быстротоков, перепадов, стен — набережных.

Водоотводные осушительные и дренажные мероприятия и устройства делят на:

- *работы на поверхности* (планировка местности, заделка трещин, устройство покрытий, дамб, обвалования, нагорных и осушительных каналов, лотков, каптаж источников);

- *обустройство дренажей* (продольные и поперечные прорезы и галереи, дренажные шахты, поглощающие скважины и колодцы);

- *выполнение изоляционных мероприятий* (устройство различных инъекционных завес, глинизация, замораживание грунтов).

Землеустроительные мероприятия направлены на:

- разгрузочные работы в активной зоне (полный съём оползневых масс, срезка активной части оползня, очистка скальных откосов, террасирование и уполаживание склона, общая планировка склона) и пригрузки в пассивной зоне (отсыпка и отвал грунта);
- покрытие скальных склонов металлическими и геосинтетическими сетками;
- армирование поверхности геосинтетическими материалами (сетками, ячеистыми каркасами и т. п.);
- устройство каменных ловушек.

Механическое крепление склона (откоса) связано с устройством одиночных проशीливающих элементов в виде свай различного типа, проходящих сквозь оползень в коренные породы или рядов в виде шпунтовых стенок, инъекционных и мерзлотных завес и др.

Подпорные сооружения предусматривается возводить в виде шпунтовых стенок (металлических, железобетонных, деревянных), подпорных стен (каменных, бетонных, железобетонных), стен из свай-оболочек большого диаметра, а также в виде упорных валов (поясов) из грунта, каменной наброски, массивов-гигантов.

Покрытия предназначены для закрепления поверхности склона от воздействия ливневых и речных вод. Их выполняют из песчаных, гравелистых, галечных грунтов, каменной наброски, каменного мощения, шлакоглинобетона, асфальта и асфальтобетона, бетона и железобетона, геосинтетических пленок из армированного высокопрочного полиэтилена. Для закрепления береговой зоны часто используют фашинные туюфки.

Использование растительности направлено на закрепление и осушение склона. Здесь предусматривается сплошное травосеяние, посадка влаголюбивого кустарника, облесение склона (вяз, дуб, клен, липа, лиственница).

Искусственное уплотнение и закрепление грунтов на склоне предусматривает проведение различных инъекций (цементация, силикатизация, битумизация, глинизация), замораживание грунтов, уплотнение электроосмосом.

Обеспечение устойчивости возводимых сооружений в зоне действий оползня преследует цель повышения безопасности и включает мероприятия:

- удаление неустойчивого массива на всю его мощность (до коренных неоползнеопасных пород);
- закладку глубоких фундаментов, опирающихся на устойчивые породы;
- устройство фундаментов из буронабивных свай;

- использование каркасных конструкций;
- армирование крутых откосов геосинтетическими сетками и каркасами;
- применение железобетонных поясов;
- устройство деформационных швов.

Г л а в а 28

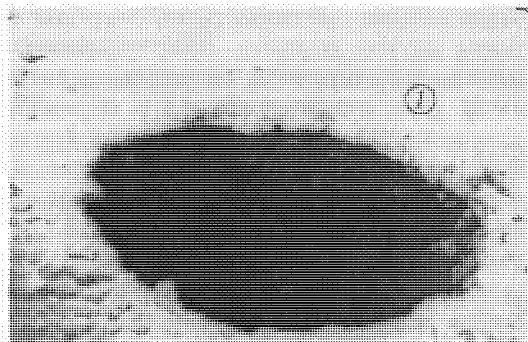
СУФФОЗИОННЫЕ И КАРСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Суффозионные процессы. При фильтрации подземная вода совершает разрушительную работу. Из пород вымываются составляющие их мелкие частицы. Это сопровождается оседанием поверхности земли, образованием провалов, воронок (рис. 156). Этот процесс выноса частиц, а не его последствия, называют *суффозией*.

Различают два вида суффозии — *механическую* и *химическую*. При механической фильтрующаяся вода отрывает от породы и выносит во взвешенном состоянии целые частицы (глинистые, пылеватые, песчаные); при химической вода растворяет частицы породы (гипс, соли, карбонаты) и выносит продукты разрушения.

При одновременном действии этих двух видов суффозии иногда применяют термин — *химико-механическая суффозия*. Такая суффозия может быть в лессовых породах, где растворяется карбонатное цементирующее вещество и одновременно выносятся глинистые частицы.

Основной причиной суффозионных явлений следует считать возникновение в подземных водах значительных сил *гидродинамического давления* и превышение величины некоторой *критиче-*



Р и с. 156. Суффозионный провал в толще суглинков:

1 — снег

ской скорости воды. Это вызывает отрыв и вынос частиц во взвешенном состоянии. Взвешивание частиц происходит при критическом напоре $I_{кр}$, который можно определить по формуле

$$I_{кр} = (\Delta - 1)(1 - n) + 0,5n,$$

где Δ — плотность породы (песка); n — пористость породы.

Гидродинамическое давление D , г/см³, действующее по касательной к депрессионной кривой дренируемого потока, определяют по формуле

$$D = \Delta_0 n I,$$

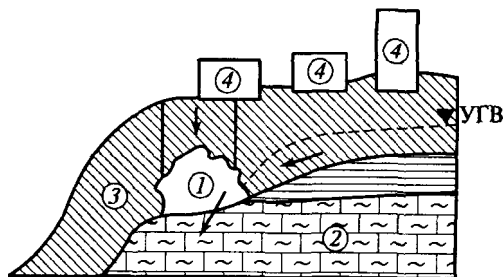
где $\Delta_0 = 1$ — плотность воды; n — пористость; I — гидравлический уклон (градиент).

Суффозия наиболее свойственна гранулометрически неоднородным породам. Процесс механической суффозии в разномерном песке происходит следующим образом. Песок состоит из частиц различного размера — больших и малых. Большие частицы создают структурный каркас породы. Поры достаточно велики и через них под действием фильтрующейся воды свободно проходят мелкие частицы (глинистые, пылеватые). Суффозия в таких песках возникает с момента появления критического напора $I_{кр} > 5$.

Суффозия может происходить в глубине массива пород или вблизи поверхности земли.

В глубине массива перенос мелких частиц осуществляется водой из одних пластов в другие или в пределах одного слоя. Это приводит к изменению состава пород и образованию подземных каналов. В глубине массива суффозия может возникать также на контакте двух слоев, различных по составу и пористости. При этом мелкие частицы одной породы потоком воды переносятся в поры другой породы. При суффозии на контакте между слоями иногда формируются своеобразные прослои или вымываются пустоты. Это можно наблюдать на контакте глинистых и песчаных слоев, когда соотношение коэффициентов фильтрации этих пород больше двух. Характерными являются пустоты лессовых пород, в частности, на контакте с подстилающими их кавернозными известняками-ракушечниками. Размер пустот иногда достигает нескольких метров. Такие небольшие пещеры развиты, например, на склонах долины р. Темерник в г. Ростове-на-Дону (рис. 157). Развитие пещер нередко сопровождается провалом поверхности земли, повреждением зданий и подземных коммуникаций.

Р и с. 157. Суффозионная
полость (1) в лессовых породах,
залегающих на склоне рельефа,
сложенном
известняками-ракушечниками
(2) и глиной (3):
4 — здания



Следует отметить, что в лессовых породах суффозия развивается не только на контактах, а и в самых толщах, образуя так называемый *глиняный*, или *лессовый*, карст.

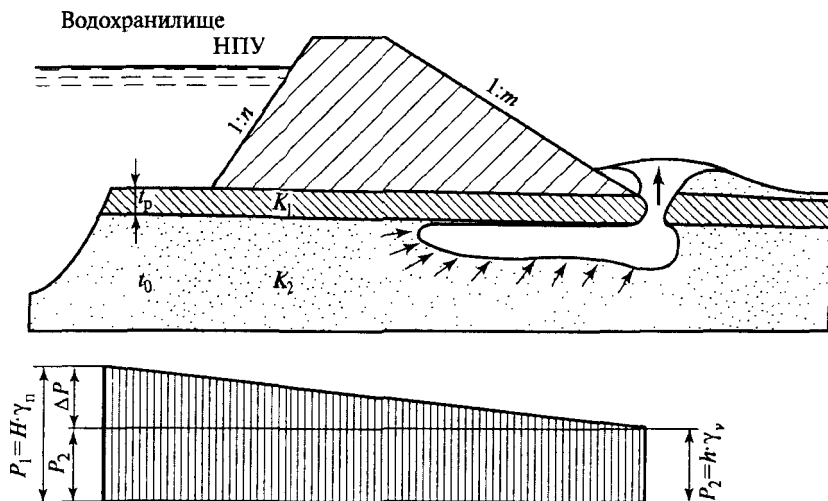
Развитие пустот начинается с ходов землероев и при условии возникновения в них турбулентных завихрений фильтрующей воды. Порода разрушается и образуются пустоты размыва.

Как механическая, так и химическая суффозия активно проявляется также вблизи поверхности земли при естественном или искусственном изменении гидродинамических условий — формировании воронок депрессии, колебаниях уровня подземных и поверхностных вод, откачках, дренажировании. Суффозионные процессы часто возникают на склонах речных долин и откосах котлованов и берегах водохранилищ при быстром спаде паводковых вод или сбросе лишних вод, в местах выхода на поверхность грунтовых вод, на орошаемых территориях (рис. 158).

В откосах строительных выемок суффозионный вынос частиц приводит к оседанию поверхности, образованию провалов, воронок, оползней. Например, в районе Волгограда многие оползни связаны с суффозионным выносом песка грунтовыми водами. На орошаемых землях дельты рек Терека и Сулака (Прикаспий) за счет инфильтрации воды и перепада ее скоростей на границе супесчано-суглинистых отложений с озерно-аллювиальными трещиноватыми глинами образуются крупные провалы, разрушается оросительная сеть, магистральные каналы.

Химическая суффозия может проходить длительное время и выщелачивает не только карбонаты и другие сравнительно легко растворимые вещества, но и кремнезем. При значительном растворении пород химическая суффозия переходит в карстовый процесс.

При исследовании пород, в которых наблюдается или возможна фильтрация воды, необходимо выявлять их способность к суффозии. Следует учитывать, что при малом гидродинамическом давлении в породах может происходить только фильтрация воды,



Р и с. 158. Схема формирования суффозионной каверны под насыпной плотиной (по М.Васичу) (обозначения ясны из рисунка)

при повышении давления начинается суффозия. Для выявления этих свойств определяют критические градиенты и давление воды, при которых начинается процесс суффозии. Эту работу проводят в лабораторных и полевых условиях.

При проектировании объектов необходимо установить возможность проявления суффозионной осадки, определить величину и характер протекания суффозной осадки (S_c). При этом следует определять всю суммарную величину вертикальной деформации засоленного основания, которая складывается из осадки, вызванной уплотнением грунтов от нагрузки объектов, и суффозионной осадки.

При прогнозе величины суффозионной осадки следует учитывать:

- в глинистых грунтах с содержанием глинистых частиц более 40 % осадка практически не проявляется;
- наибольшая осадка наблюдается при высокой засоленности и большой пористости грунтов;
- величина и характер протекания осадки во времени во многом зависят от химического состава фильтрующей в грунте воды.

Величина суффозионной осадки определяется по результатам полевых испытаний засоленных грунтов статической нагрузкой (штампом) после длительного замачивания.

Строительство на суффозионных грунтах имеет свои трудности и осуществляется по специальным требованиям строительных

норм и правил. При возведении объектов используются различные приемы строительства:

- прорезка фундаментами зданий слоя суффозионного грунта;
- водозащита оснований от проникновения в них атмосферных и технических вод;
- прекращение фильтрации подземной воды устройством дренажей и водонепроницаемых завес;
- отсыпка на основании грунтовых подушек из песка или суглинков;
- предпостроечное рассоление и уплотнение грунтового основания;
- искусственное закрепление массива грунтов методами технической мелиорации (кроме крупнообломочных грунтов, обладающих высокой фильтрационной способностью).

Выбор того или иного приема строительства зависит от геологического строения и гидрогеологической обстановки строительной площадки, типа и вида грунтов оснований, характера засоления, конструкции объекта и технических возможностей строительной организации.

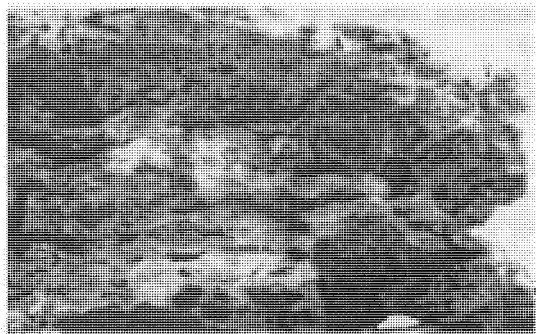
Суффозионные явления отрицательно сказываются на устойчивости зданий и сооружений. С суффозией следует активно бороться. Основой всех мероприятий является прекращение фильтрации воды. Это достигается различными путями: регулированием поверхностного стока атмосферных вод и гидроизоляцией поверхности земли; перекрытием места выхода подземных вод тампонированием или пригрузкой песком; устройством дренажей для осушения пород или уменьшением скорости фильтрации воды; упрочнением ослабленных суффозией пород методами силикатизации, цементации, глинизации, применением специально выбранных видов фундаментов, например свайных.

Карстовые процессы. Это процессы выщелачивания водорастворимых горных пород (известняков, доломитов, гипсов) подземными и атмосферными водами и образования в них различных пустот.

Для карстового процесса (в отличие от обычной суффозии) главным является *растворение* пород и вынос из них веществ в растворенном виде (рис. 159).

В России *карст* имеет широкое распространение в районах западного Приуралья (закрытый гипсовый и известняковый карст), на Русской равнине (закрытый известняковый карст), в Приангарье (известняковый карст) и во многих других местах Сибири, Кавказа и Дальнего Востока.

Возникновение и развитие карста обусловлено способностью пород к полному растворению, наличием проточной воды и сте-



Р и с. 159. Известняки, подверженные карстовому процессу

пенью ее минерализации, геологическим строением участка, рельефом местности, трещиноватостью пород, характером растительности, климатом.

Из всех пород наиболее растворимыми водой являются соли (хлориды), гипсы с ангидритами и известняки. Для растворения одной части каменной соли (галита) достаточно трех частей воды, а для гипса нужно уже 480 частей воды. Труднее всего растворяются известняки. В зависимости от содержания в воде CO_2 и от температуры для растворения одной части минерала кальцита, из которого обычно слагаются известняки, требуется от 1000 до 30 000 частей воды. Аналогичным образом растворяются доломит и магнезит.

Причины различной растворимости минералов зависят от энергии кристаллических решеток. Чем больше эта энергия, тем труднее растворяется минерал. Кроме того, растворимость породы зависит от крупности составляющих ее частиц. Мелкие зерна при всех прочих равных условиях растворяются быстрее.

Одним из главных факторов карстообразования является действие воды — атмосферной, речной, подземной, если она не обладает повышенной минерализацией. Наиболее сильно растворяет породы слабо минерализованная вода, а также водные растворы, содержащие свободную углекислоту. В этом случае растворяющее действие воды увеличивается во много раз. Растворению способствует повышенная температура и движение воды. Зависимость растворимости кальцита от температуры представлена следующим примером:

Температура, °С.....	25	50	100
Растворимость, мг/л.....	14,33	15,04	17,79

Одним из самых важных условий развития карста является степень водопроницаемости пород. Чем более водопроницаема поро-

да, тем интенсивнее развивается процесс растворения. Наилучшие условия в этом отношении создаются в трещиноватых породах, особенно при наличии трещин шириной не менее 1 мм, так как это обеспечивает свободную циркуляцию воды. Вода постепенно разрабатывает трещины в каналы и пещеры. Этот процесс, получивший название *коррозии*, продолжается до водоупора или уровня подземных вод. У коррозионного процесса, как и у эрозионного, имеется нижний предел развития, называемый *базисом коррозии*, которым чаще всего бывает уровень ближайшей реки, озера или моря, а также поверхность водоупорных пород.

Поднятие или опускание карстового массива, вследствие движений земной коры, вызывает изменение положения базиса коррозии. Карстовый процесс при этом либо усиливается, либо ослабевает.

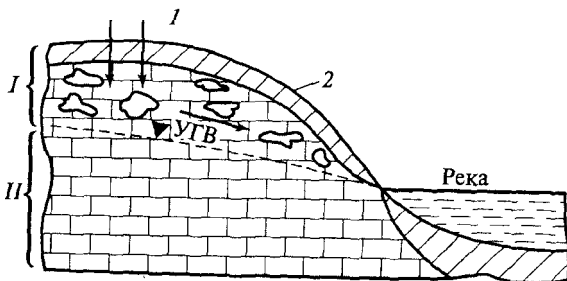
Ниже уровня подземных вод, если они достаточно минерализованы, и поток их движется медленно, карстообразование не происходит. В этой части массива наблюдается цементация трещин за счет выпадения из водного раствора кальцита и (или) других веществ. В связи с этим в карстующемся массиве следует различать *зону карстообразования* и *зону цементации* (рис. 160).

Интенсивность карстообразования определяется мощностью слоя карстующихся пород. При малой мощности исключается возможность возникновения больших пустот. К тому же мало-мощные слои растворимых в воде пород часто переслаиваются с глинами, иногда даже перекрываются глинистыми отложениями. Глинистый материал препятствует циркуляции воды, заполняет (забивает) трещины пород.

Очень большое влияние на развитие карста оказывает *климат* (количество и характер распределения осадков по сезонам года, температурный режим верхних слоев земной коры). Так, установлено, что на Урале до 50 % карбонатных солей выносятся водами в весенний период. Зимой их вынос составляет всего лишь несколько процентов от среднегодового количества. При *рельефе*, ко-

Рис. 160. Зоны карстового массива в известняке:

- I — зона развития карста;
- II — зона цементации;
- УГВ — уровень грунтовых вод;
- 1 — атмосферные воды;
- 2 — суглинки



торый не обеспечивает поверхностного стока, роль атмосферных вод значительно возрастает.

Влияние *растительности* на развитие карста двоякое. С одной стороны, лесная подстилка и гумус обогащают воду свободной CO_2 и усиливают ее растворяющую деятельность, с другой стороны, глинистый элювий, формирующийся на покрытых растительностью территориях, уменьшает инфильтрацию и размывающую силу поверхностных вод. Уничтожение леса и дернового покрова всегда способствует развитию поверхностных карстовых форм.

Формы карста. В процессе выщелачивания в карстующихся породах образуются различные по своему положению и форме *пустоты*, или карстовые формы.

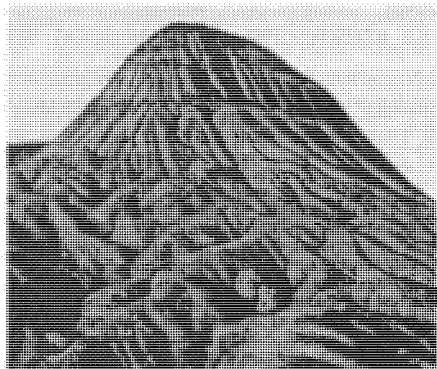
По отношению к земной поверхности различают два типа карста: открытый и скрытый. При *открытом* типе карстующиеся породы лежат непосредственно на *поверхности* земли, а при *скрытом* они перекрываются слоями нерастворимых водопроницаемых пород и лежат на некоторой *глубине*. Примером открытого карста могут быть районы молодых складчатых гор (Кавказ и др.). Скрытый карст распространен на Русской равнине.

Из многочисленных форм карста наиболее часто встречаются: на поверхности земли — карры, воронки, поля и в глубине карстующихся толщ — каверны и пещеры.

Карры — мелкие желоба, борозды и канавы на склонах рельефа местности из карстующихся пород в виде известняков (рис. 161). Глубина карров колеблется от нескольких сантиметров до 1—2 м.

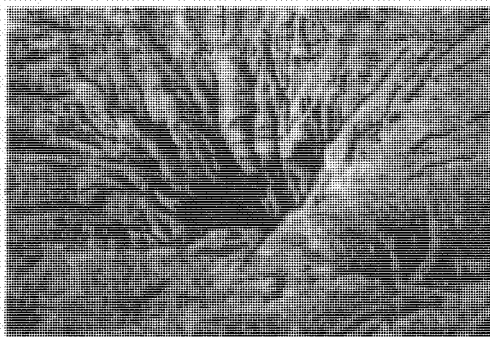
Воронки — углубления различных форм и размеров (рис. 162). Диаметр их колеблется от 3—4 до 40—50 м, глубина от 1—2 до десятков метров.

По происхождению воронки разделяют на поверхностные и провальные. *Поверхностные воронки* образуются в результате вы-



Р и с. 161. Карры в известняках

Р и с. 162. Карстовая воронка
в мергелях



щелачивания и размыва пород атмосферными и талыми водами в области открытого карста. Форма этих воронок обычно блюдцеобразная. *Провальные воронки* возникают при обрушении кровли над подземными пустотами (пещерами и т. д.), образовавшимися также в процессе карстообразования. Значительные по размерам провальные воронки иногда именуют *пропастями*. Свежие провальные воронки имеют шахтообразную форму. В дальнейшем, в частности в гипсах и солях, края воронок приобретают плавные очертания.

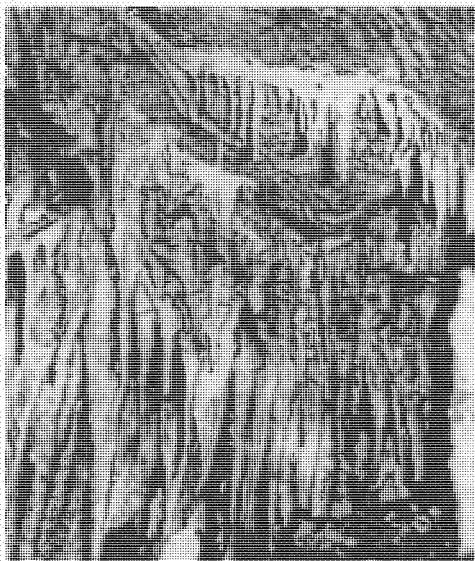
На дне воронок всегда есть трещины, по которым вода поступает в глубину массива пород. В большинстве случаев воронки располагаются по определенным линиям, которые соответствуют основному направлению трещин массива. Такие вытянутые серии воронок иногда преобразуются в *карстово-эрозионный овраг*.

Полья возникают в результате постепенного объединения воронок или опускания больших участков земной поверхности в результате карстового выщелачивания пород на глубине толщ. По длине поля простираются на сотни метров и даже километров, глубина достигает нескольких метров.

Каверны образуются в результате растворения пород по многочисленным трещинам. Карстующиеся породы становятся похожими на пчелиные соты.

Пещеры — подземные пустоты, формирование которых связано с растворением пород и сопровождается эрозией и обрушением. Колебание базиса коррозии нередко приводит к появлению пещер, располагающихся в несколько этажей. В качестве примера можно привести Жигулевские горы. На рис. 163 показана пещера в известняках.

В массиве карстующихся пород наблюдается обычно несколько пещер, связанных воедино ходами и трещинами, по которым



Р и с. 163. Пещера в известняках

циркулирует подземная вода. Пещерам свойственны озера и подземные реки.

Пещеры разнообразны по форме и размерам. Наиболее крупной среди известных является Мамонтова пещера в Северной Америке. Если все проходы и галереи этой пещеры вытянуть в одну линию, то их длина составит 240 км. Высота одного из залов достигает 40 м при размере в плане 163×87 м. Самой высокой в мире пещерой среди известных является Анакопийская пропасть в Новом Афоне (Кавказ). Один из ее залов имеет высоту более 70 м.

Строительство в карстовых районах связано со значительными трудностями, так как карстующиеся породы являются ненадежным основанием. Пустотность снижает прочность и устойчивость пород, как оснований зданий и сооружений. Развитие карстовых форм может вызвать недопустимые осадки или даже полное разрушение конструкций. Карстовый процесс особенно опасен для гидротехнических сооружений. Через карстовые пустоты возможны утечки воды из водохранилищ, каналов. При строительстве в карстовых районах необходимо осуществлять ряд мер, направленных на прекращение развития карстовых форм, повышения устойчивости и прочности пород:

- предохранять растворимые породы от воздействия поверхностных и подземных вод, что достигается планировкой территории,

устройством системы ливнеотводов, покрытием поверхности слоем жирной глины, выполняющей роль гидроизоляции. Фльтрация подземных вод пресекается сооружением дренажных систем;

- упрочнять карстующиеся породы и одновременно предотвращать доступ в них воды, что может быть достигнуто нагнетанием в трещины и мелкие пустоты жидкого стекла, цементного или глинистого раствора, горячего битума.

В карстовых районах предусматривают строительство зданий малочувствительных к неравномерным осадкам, фундаменты свайного типа и другие специальные конструктивные решения.

Для правильного проектирования зданий и сооружений в карстовых районах необходимы *детальные инженерно-геологические исследования*, которые должны носить комплексный характер. При этом изучают климат, растительность, гидрологию, геоморфологию, геологию местности, подземные воды и в том числе все, что связано с самими карстовыми формами, что собственно определяет СНиП 11.02—96.

Инженерно-геологические исследования позволяют обнаружить и нанести на карту районы карстующихся пород, выделить наиболее опасные участки, где капитальное строительство практически невозможно, определить наличие карстовых форм под землей. В этом некоторую помощь могут оказать геофизические методы разведки, в частности электроразведка.

Принципиальное значение имеет определение степени активности карстового процесса. В связи с этим различают: *действующий карст*, который развивается в современных условиях, и *пассивный*, или древний, карст, развитие которого происходило в прошлом. В последнем отсутствует циркуляция воды. Такие карстовые формы часто содержат делювиально-пролювиальный материал, задернованы, покрыты кустарниковой и даже древесной растительностью. При изменении базиса коррозии и других причин пассивный карст может перейти в активную стадию.

При активном карсте степень закарстованности пород продолжает возрастать. Для растущих карстовых форм характерны четкие очертания, циркуляция воды, зияние трещин, отсутствие древесной растительности.

Возможности возведения сооружения в районе активного карста определяют сроком службы и особенностями его эксплуатации. В связи с этим важное значение имеет определение скорости развития карстового процесса. Для приближенной оценки степени закарстованности территории и скорости развития карста существует ряд способов, в том числе длительное наблюдение за карстообразованием в данном районе.

Карстовые районы по степени устойчивости можно разделить на пять категорий:

- 1) весьма неустойчивые, образуются по 5—10 воронок в год на 1 км²;
- 2) неустойчивые — 1—5 воронок в год на 1 км²;
- 3) средней устойчивости — 1 воронка на 1 км² за время от одного года до 20 лет;
- 4) устойчивые — 1 воронка на 1 км² за 20—50 лет;
- 5) весьма устойчивые, на которых отсутствуют или имеются лишь старые воронки; свежих провалов не зарегистрировано за последние 50 лет.

Скорость развития карстового процесса можно определить с помощью показателя активности карстового процесса

$$A = (V/V_1) 100\%,$$

где A — показатель активности карстового процесса; V — объем растворенной в течение 1000 лет породы; V_1 — объем карстующихся пород.

Глава 29

ПЛЫВУНЫ

Плывунами называют водонасыщенные рыхлые породы, обычно пески, которые при вскрытии различными горными выработками разжижаются, приходят в движение и ведут себя подобно тяжелой вязкой жидкости.

Плывунные свойства, кроме песков, при определенных условиях могут проявлять пылеватые суглинки, супеси, т. е. породы, обладающие значительной пористостью.

Основной причиной проявления у пород плывунных свойств является *гидродинамическое* давление поровой воды, которое создается в результате перепада (градиента) давления грунтовых вод при вскрытии котлована (траншей и т. п.). В связи с обычно малой водопроницаемостью плывунных пород гидравлический градиент вызывает фильтрационное давление на частицы породы, обуславливая их движение по направлению градиента или, иначе говоря, в сторону разгрузки, в котлован. Для определения критического значения градиента фильтрации $I_{кр}$, при котором порода переходит в плывунное состояние, рекомендуют формулу

$$I_{кр} = (\rho - 1)(1 - n),$$

где ρ — плотность породы; n — пористость.

В плавунном состоянии породы утрачивают всякие структурные связи. Частицы переходят во взвешенное положение, т.е. по существу, плавунуны имеют в этот момент плотность некоей вязкой жидкости.

Интенсивность плавунных явлений в породах зависит от величины градиента, гранулометрического и минерального состава формы частиц, плотности породы и ряда других факторов.

Плавунуны, находящиеся в покое, слабо отдают воду и мало водопроницаемы.

Плавунуны разделяют на ложные (псевдоплавунуны) и истинные.

Ложные плавунуны — это породы, не имеющие структурных связей, обычно в виде различных песков. Переход в плавунное состояние происходит под действием высокого гидродинамического давления потока подземных вод. Коэффициент фильтрации достигает 1—2 м/сут и более. Частицы породы находятся во взвешенном состоянии. Трение между ними сводится к нулю. Пески этого вида плавунунов очень легко оплывают. Плотность в безводном состоянии колеблется от 1,5 до 1,75 т/м³. Вода светлая или слабо мутная. Взвешивающее действие воды при определенных условиях проявляется также в песках некоторых морских побережий, образуя так называемые *зыбучие* пески. Под действием гидродинамического давления во взвешенное состояние могут переходить не только пески, но некоторые другие рыхлые породы.

Характерной особенностью ложных плавунунов является довольно легкая отдача ими воды. При высыхании они образуют рыхлую или слабо сцементированную массу.

Истинные плавунуны — это породы с коагуляционными или смешанными связями в виде глинистых песков, а также супесей, суглинков. Структурные связи обусловлены присутствием глинистых (менее 0,001 мм) частиц с высокими гидрофильными свойствами. Переход в плавунное состояние определяется невысоким гидродинамическим давлением и присутствием притягивающих к себе влагу (гидрофильных) глинистых частиц. Вокруг этих частиц формируются пленки связанной воды, что ослабляет структурное сцепление и уменьшает водопроницаемость пород. Значения коэффициента фильтрации очень низкие — от 0,005 до 0,0001 см/с.

Плотность истинных плавунунов в безводном состоянии равна 1,8—2,2 т/м³. Разжижение плавунунов происходит при влажности, меньшей полной влагоемкости. Глинистые частицы окрашивают воды в серовато-молочный цвет. При высыхании истинные плавунуны вследствие склеивающего действия глинистых частиц обра-

зуют довольно сильно сцементированные массы. Характерной особенностью истинных пловунов является слабая отдача воды. Они «плывут» в основном за счет физически связанной воды.

Есть некоторые данные (В.В. Радина, 1975), что в истинных пловунах на имеющейся в них органике развиты колонии микроорганизмов, продукты жизнедеятельности которых способствуют проявлению пловунных свойств.

В строительной практике важно определить способность породы переходить в пловунное состояние и вид пловуна. Это можно сделать по ряду внешних признаков и на основе лабораторных анализов.

Склонность породы переходить в пловунное состояние можно установить по величине водоотдачи, высокой пористости (более 43 %), по гидрофильности глинистых частиц и другим факторам. В полевых условиях способность к пловунности пород устанавливается по образованию в скважинах при бурении водопесчаных «пробок».

Наиболее сложно определить вид пловуна. Для этого необходимо изучить весь комплекс инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Можно также использовать некоторые внешние признаки. Так, истинный пловун в котлованах дает скопление воды в виде «цементного» молока. Песок, взятый из котлована, имеет вид маловлажного грунта, воду не отдает и постепенно оплывает в лепешку.

Пловуны осложняют строительство. Они создают большие трудности в проходке строительных выработок, стремясь заполнить выработанное пространство. При условии замкнутого пространства пловуны могут быть надежными основаниями, но создать такой контур трудно. Возможно выпирание пловунов из-под фундаментов, что вызывает оползни, провалы поверхности, деформацию зданий и сооружений. Открытый водоотлив из котлованов опасен проявлением суффозии на окружающей территории. Опасна подрезка склона, дающая выход пловунам. Примером может служить случай со 100-метровым трамплином на Воробьевых горах в Москве. После строительства трамплина строители начали подрезать грунт в нижней части склона, чтобы придать ему необходимую кривизну для безопасного приземления лыжников. Были вскрыты пловуны, которые стремительно заполнили выемку и затопили экскаватор и вызвали оседание откоса. Пловуны очень чувствительны к вибрации и динамическим ударам, даже на значительно удаленных расстояниях от места возмущения.

Борьба с пловунами сложна и не всегда принятые меры дают желаемые результаты. В таких случаях приходится отказываться

от устройств котлованов и применять свайный вариант фундаментов или подошву фундамента не доводить до слоя плавунных пород. В выборе метода борьбы важнейшее значение имеет вид плавунна.

Все способы борьбы с плавунами можно разделить на 3 группы:

- искусственное осушение плавунных пород в период строительства (открытая откачка воды из котлованов, иглофильтры и др.);
- ограждение плавуннов путем создания шпунтовых стен (рис. 164);
- закрепление плавуннов путем изменения их физических свойств (силикатизация, цементация, замораживание и т. д.).

Для ложных плавуннов применимы все способы борьбы. В борьбе с истинными плавуннами можно использовать *ограждение, замораживание и электрохимическое закрепление*. При проходке подземных выработок используют повышенное давление, уравнивающее давление воды плавунна.

Возможность осушения плавуннов зависит от их коэффициента фильтрации. При $k_f > 1$ м/сут откачку воды производят из скважин; при $k_f \leq 1,0 \dots 0,2$ м/сут следует использовать специальные установки — иглофильтры, позволяющие произвести осушение до глубины 5—6 м, и при иглофильтрах особой конфигурации — до 12—15 м и более. При $k_f < 0,2$ м/сут иглофильтры применяют в сочетании с электродренажом.

Строительный котлован от плавунна можно оградить *шпунтовой крепью*, задача которой — прорезать слой плавунной породы и принять на себя ее давление. Забивка деревянного шпунта ограничивается глубиной 6—8 м, металлического — 20—25 м. При наличии галечников и прослоев плотных грунтов (мергели и др.) погрузить шпунт не удастся.



Р и с. 164. Шпунтовая стена
в плавуне

Замораживание плывунов является временным и ненадежным мероприятием. Для этого используют или морозное время года, или специальные холодильные установки. В зимнее время проходку котлованов проводят поэтапно, после каждого периода промораживания грунта на глубину 20—30 см. Искусственное замораживание осуществляют вокруг котлована путем циркуляции в скважинах раствора CaCl_2 , охлажденного до -20 — -40 °С. Это создает вокруг котлована зону замороженного водопроницаемого грунта.

Силикатизация — нагнетание в плывуны жидкого стекла. Это возможно при достаточно высокой водопроницаемости плывунов ($k_{\text{ф}} > 0,5$ м/сут). Силикатизация требует больших затрат, но весьма эффективна.

Правильное и своевременное применение тех или иных мер борьбы с плывунами позволяет успешно осуществлять строительные работы.

Глава 30

ПРОСАДОЧНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЛЕССОВЫХ ПОРОДАХ

Лессовые породы занимают большие площади территории России, залегая на различных геоморфологических элементах земной поверхности.

Подстилаются лессовые толщи разнообразными по возрасту и литологии отложениями. В одних случаях подстилающие слои представлены водопроницаемыми породами (пески, галечники и т. п.), в других — водоупорными глинами.

Толщина лессовых отложений колеблется от нескольких до десятков метров, а в отдельных случаях даже более 100 м (Восточное Предкавказье). Наиболее распространенная мощность лессовых отложений 10—25 м, максимальная встречается как на водоразделах, так и в понижениях рельефа. В лессовых толщах всегда встречаются погребенные почвенные горизонты, разделяющие толщи на ярусы по возрасту.

Лессовые породы представлены суглинками, реже — супесями. Среди них различают *лесс* (первичное образование) и *лессовидные суглинки* (переотложенные первичные образования). Гранулометрический состав их нередко бывает сходным, поэтому в строительном деле целесообразно пользоваться единым названием «*лессовые грунты*», подразделяя их по гранулометрическому составу

на супеси, суглинки, глины. Для лессов типична однородность. Лессовидные суглинки обычно слоисты и могут содержать обломки различных пород.

Лессовые грунты бывают палевой, палево-желтой или желто-бурой окраски. Для них характерны следующие особенности: способность сохранять вертикальные откосы в сухом состоянии, быстро размокать в воде, высокая пылеватость (содержание фракции 0,05—0,005 мм более 50 % при небольшом количестве глинистых частиц), невысокая природная влажность (до 15—17 %); пористая структура (более 40 %) с сетью крупных и мелких пор, высокая карбонатность, засоление легководорастворимыми солями.

Природная влажность лессовых грунтов связана, в основном, с климатическими особенностями районов. В областях недостаточного увлажнения влажность составляет не более 10—12 % (Восточное Предкавказье и др.). В более влажных районах она достигает 12—14 % и более. Для лессовых толщ характерна анизотропность фильтрационных свойств. Водопроницаемость лессовых пород по вертикали нередко в 5—10 раз превышает значения водопроницаемости по горизонтали. При поступлении воды в лессовые толщи образуются скопления верховодок (или грунтовых вод) куполообразного залегания. Такая форма подземных вод в настоящее время свойственна многим участкам, где постоянно происходят утечки промышленно-бытовых вод (Ростов-на-Дону, Таганрог и др.).

В лессовых толщах природная влажность распределяется довольно закономерно. У поверхности располагается зона сезонных колебаний влажности, ниже — зона относительно постоянной влажности и далее влажность изменяется в сторону увеличения или уменьшения, что зависит от характера подстилающих пород. При водоупорах природная влажность нарастает и переходит в грунтовую воду. При водопроницаемых породах природная влажность изменяется мало или даже с глубиной понижается.

Изменение влажности лессовых грунтов по сезонам года серьезно сказывается на основных строительных свойствах — сжимаемости, просадочности и сопротивлении сдвигу.

Среди лессовых пород по характеру влияния на них увлажнение различают: набухающие, непросадочные, просадочные.

Набухающие лессовые породы встречаются редко. Обычно эти плотные и наиболее глинистые разновидности с содержанием в составе фракции менее 0,005 мм гидрофильных минералов типа монтмориллонита. Величина набухания структурных образований достигает 1—3%, реже—5—7%.

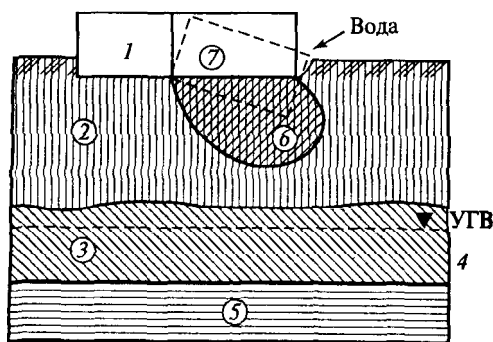
Непросадочные лессовые породы при замачивании и приложении нагрузок просадочных свойств не проявляют. Такие породы

свойственны пониженным частям рельефа и наиболее северным районам распространения лессовых отложений. Непросадочными также являются нижние части лессовых толщ и участки, ранее претерпевшие значительное обводнение.

Просадочность — явление, характерное для многих лессовых пород. На рис. 165 показан наиболее характерный случай геологического строения лессовой толщи, в верхней части которой залегают грунты, обладающие просадочными свойствами. Просадка связана с воздействием воды на структуру пород с последующим ее разрушением и уплотнением под весом самой породы или при суммарном давлении собственного веса и веса объекта. Уплотнение пород приводит к опусканию поверхности земли в местах замачивания водой. Форма опускания зависит от особенностей источника замачивания. При точечных источниках (прорыв водопроводной сети, канализации и т. д.) образуются блюдцеобразные понижения. Инфильтрация воды через траншеи и каналы приводит к продольным оседаниям поверхности. Площадные источники замачивания, в том числе и при поднятии уровня подземных вод, приводят к понижению поверхности на значительных территориях.

Вследствие опускания поверхности земли здания и сооружения претерпевают деформации, характер и размер которых определяется величинами просадок $S_{\text{пр}}$ (рис. 166, 167). Величина оседания поверхности (величина просадки) может быть различной и колеблется от нескольких до десятков сантиметров, что зависит от особенностей замачивания толщи. Например, в г. Ростове-на-Дону просадка может составить 15—20 см, а в районе Терско-Кумской оросительной системы на Северном Кавказе — 100—150 см.

Структура лессовых пород по своей прочности неодинакова. В одних случаях она разрушается после водонасыщения и при одно-



Р и с. 165. Строение лессовой толщи:

1 — здание; 2 — породы просадочные; 3 — то же, непросадочные; 4 — грунтовая вода; 5 — глина (водоупор); 6 — участок, где проявилась просадка; 7 — деформируемая часть здания

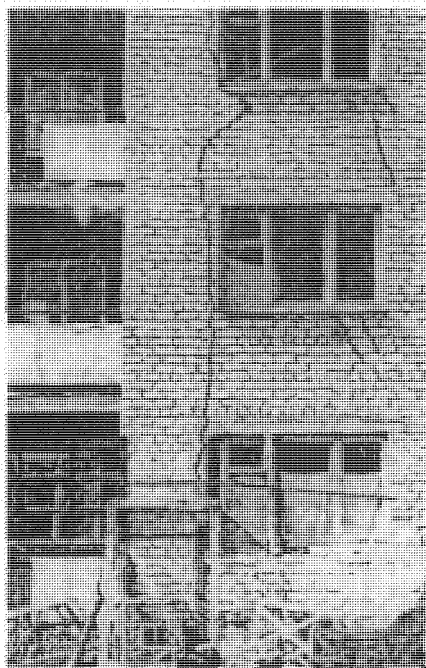
Р и с. 166. Деформация здания от просадки в лессовой породе основания

временном приложении к ней нагрузки от объекта. Такие породы относят к *I типу по просадочности*, другие лессовые породы разрушаются уже при водонасыщении только под собственным весом. Это породы *II типа по просадочности* (рис. 168).

В лессовых толщах просадочными свойствами обладает только их верхняя часть. Мощность слоя просадочных пород H_{SL} колеблется от 1 до 30 м (иногда больше). Для пород *I* типа эта величина в основном составляет 8—10 м.

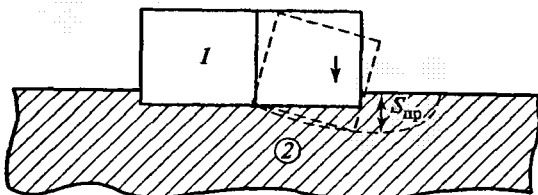
Просадочные породы до глубины 10—25 м типичны для *II* типа. Они встречаются в Восточном Предкавказье. Просадочные свойства с глубиной снижаются и постепенно переходят в непросадочные.

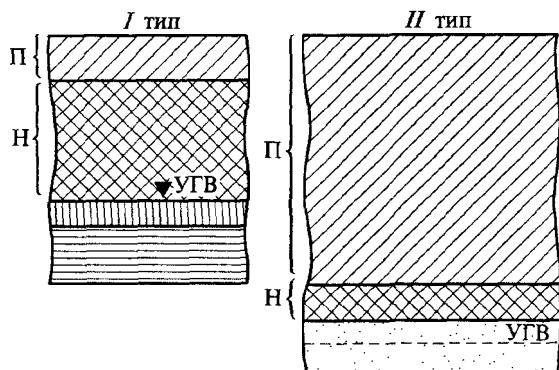
Важное значение в проявлении просадочного процесса имеет структурная прочность лессовых грунтов. При слабых и легководорастворимых структурных связях просадка возникает через несколько часов, что характерно для грунтов *I* типа. Структуры грунтов *I* типа обычно более прочные. Кроме длительного, в течение ряда дней, воздействия водой для их разрушения необходимо более высокое давление (собственный вес грунта и вес здания, стоящего на нем). Из этого следует, что просадочный процесс возникает лишь при некотором для данного грунта давлении. Это давление называли «начальным просадочным давлением» P_{SL} . Для пород *I* типа оно составляет 0,13—0,2 МПа, для *II*



Р и с. 167. Деформация здания (схема) на лессовых породах в результате просадки:

1 — здание; 2 — лессовая порода;
 S_{np} — величина просадки





Р и с. 168. Соотношение мощностей просадочных и непросадочных пород в лессовых толщах I и II типов:

П — просадочные породы;
Н — непросадочные породы

типа — 0,08—0,12 МПа. Значение начального просадочного давления определяет деформируемые зоны в лессовой просадочной толще. В этих зонах происходит просадочное уплотнение пород. На рис. 169 показано, где образуются деформируемые зоны в породах I и II типов.

В первом случае просадочная деформация возникает под фундаментом в зоне 1. Во втором случае, кроме зоны 1, просадка возникает еще в зоне 3, где она проявляется под действием собственного веса породы. В ряде случаев зона 2 вообще отсутствует, и зона 1 сливается с зоной 3.

За количественную характеристику просадочности принимают величину относительной просадочности породы E_{SL} , которую определяют в лаборатории по отдельным образцам, взятым из лессовой толщи. Образцы отбирают через 1 м или из различных слоев породы с сохранением структуры и природной влажности. Величины E_{SL} получают по результатам лабораторных компрессионных испытаний

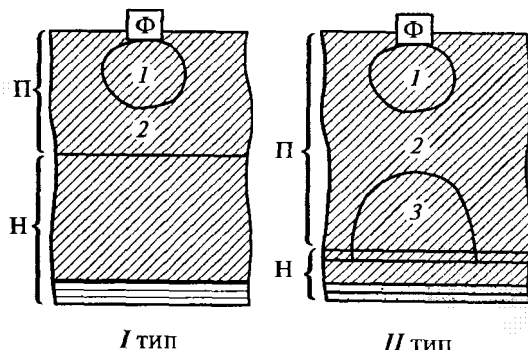
$$E_{SL} = h_i - h_i^1 / h_0,$$

где h_i — высота образца при принятом давлении; h_i^1 — высота образца в замоченном состоянии при том же давлении; h_0 — высота образца при давлении, равном природному. При значениях $E_{SL} \geq 0,01$ породу относят к просадочной. По величине E_{SL} отдельных образцов определяют общую величину просадки S_{np} данной лессовой толщи.

В полевых условиях величину S_{np} определяют методом штампа, который размещают на глубине подошвы будущего фундамента и передают на него необходимое давление и замачивают породу. Такого типа определения дают наиболее точные результаты.

Р и с. 169. Деформационные зоны в просадочных породах I и II типов:

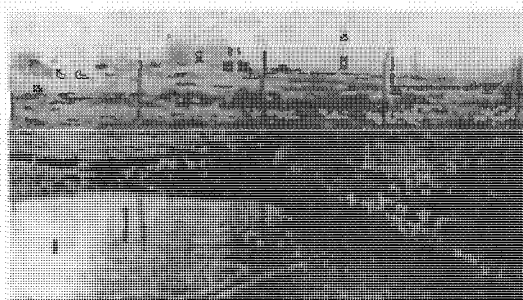
Ф — фундамент; 1 — верхняя деформируемая зона; 2 — переходная зона; 3 — нижняя деформируемая зона; П — породы просадочные; Н — то же, непросадочные



Тип грунтовых условий (I или II) устанавливают на основе лабораторных испытаний по расчетной величине $S_{пр}$, но более точные результаты можно получить лишь в полевых условиях путем замачивания лессовых толщ в опытных котлованах и наблюдением за просадкой по реперам (рис. 170).

При определении величины просадочной деформации породы не следует забывать об осадке. Под весом сооружения грунт несколько уплотняется, происходит осадка сооружения. Величина осадки в значительной степени зависит от природной влажности грунта — чем больше влажность грунта, тем больше он сжимается и тем больше величина осадки. Просадка проявляется уже как дополнительное к осадке уплотнение. Таким образом, деформация породы складывается из «осадки — просадки». Для конкретных условий эта величина обычно постоянная. Соотношение между осадкой и просадкой может меняться. В более сухих грунтах осадка будет уменьшаться, а просадка возрастет, и наоборот.

Строительство на лессовых просадочных породах. В состоянии природной влажности и ненарушенной структуры лессовые породы являются достаточно устойчивым основанием. Однако если



Р и с. 170. Опытный котлован в лессовых породах II типа по просадочности

существует потенциальная возможность проявления просадки и это приводит к деформациям зданий и сооружений, требуется осуществление различного рода мероприятий.

В настоящее время применяют комплекс методов. Это связано с многообразием свойств лессовых грунтов. Ни один из методов не может считаться универсальным. Современные способы строительства на лессовых породах позволяют успешно противодействовать возникновению просадочных явлений, особенно в породах I типа. Наибольший эффект борьбы с просадочностью достигается при комбинировании 2—3 различных мероприятий.

Выбор мероприятий производят на основе технико-экономического анализа, в число факторов которого входят:

- тип просадочности;
- мощность просадочных пород и величина просадки;
- конструктивные особенности зданий и сооружений.

Все методы подразделяют на три группы: 1) водозащитные; 2) конструктивные; 3) устраняющие просадочные свойства пород.

Водозащитные мероприятия предусматривают планировку строительных площадок для отвода поверхностных вод, гидроизоляцию поверхности земли, предохранение зданий от утечек воды из водопроводов, устройство водонепроницаемых полов, покрытий, отмосток и т.д.

Конструктивные мероприятия рассчитаны на приспособление объектов к возможным неравномерным осадкам, повышение жесткости стен и прочности стыков, армирование зданий поясами, применение свайных, а также уширенных фундаментов, передающих давление на грунт меньше, чем P_{SL} . Маломощные просадочные грунты (H_{SL}) пререзаются глубокими фундаментами, в том числе свайными.

Наибольшее число методов связано с устранением просадочных свойств. Их подразделяют на две группы:

- улучшение пород с применением механических методов;
- физико-химические способы улучшения.

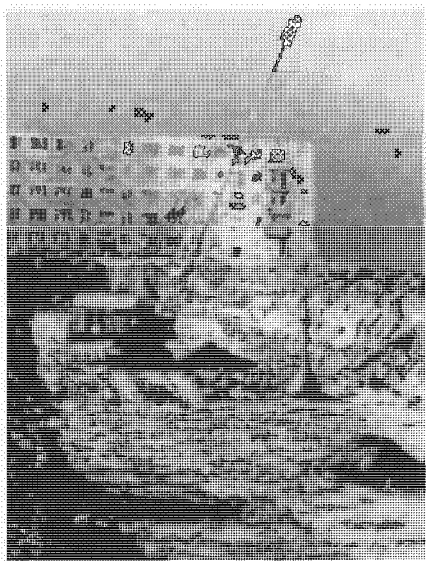


Рис. 171. Трамбование просадочной лессовой породы на стройплощадке в Ростове-на-Дону

Механические методы преобразуют породы либо с поверхности, либо в глубине толщ. Поверхностное уплотнение производят трамбовкой (рис. 171), замачиванием под своим весом или весом сооружения. В глубине толщ уплотнение производят с помощью грунтовых свай (песчаных, известняковых), взрывов в скважинах, замачиванием через скважины с последующим взрывом под водой и т. д. Находят применение также песчаные и грунтовые подушки, грунто-цементные опоры.

К *физико-химическим* способам относят: обжиг грунтов через скважины, силикатизацию, пропитку цементными и глинистыми растворами, обработку различными солями, укрепление органическими веществами (битум, смолы и др.).

Г л а в а 31

ДЕФОРМАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД НАД ПОДЗЕМНЫМИ ГОРНЫМИ ВЫРАБОТКАМИ

Горные породы в земной коре находятся в естественно напряженном состоянии, вызванном гравитационными силами. Проходка подземных горных выработок (туннелей, штолен, штреков и т. п.) вызывает в массиве пород перераспределение напряжений, причем на одних участках возникает повышенное сжатие, на других — растягивающая сила.

При концентрации напряжений возникает *горное давление*, воздействующее на крепь подземных выработок. Горное давление можно понимать как силу давления на крепь, вызванную движением горных пород в сторону выработки. Горное давление зависит от геологического строения массива и свойств пород, глубины заложения и особенностей самой выработки. Оно колеблется от 0 до 1200 МПа.

Горное давление приводит к ряду инженерно-геологических явлений, возникающих вокруг подземных выработок и на поверхности земли, — горные удары, выбросы пород, пучение, обрушение, сдвигание массива пород и т. д. Эти явления развиты не только на обширных пространствах горно-промышленных районов, таких, как Донбасс, Урал, Кузбасс, где добывают полезные ископаемые подземным способом. Они могут возникать в городах и рабочих поселках, где в строительных целях выполняют различные подземные выработки типа туннелей, коллекторов, штолен и других подземных сооружений.

Сдвигание горных пород. Наиболее крупные деформации зданий и сооружений возникают при сдвигании массивов горных пород. Под *сдвиганием* обычно понимают деформацию пород, залегающих непосредственно над горными выработками (или выработанными пространствами). На этом участке в массиве происходит изгиб пластов или беспорядочное обрушение пород, а поверхность земли искривляется и опускается вместе с сооружениями. Участок земной поверхности, подвергшийся сдвиганию, называют *мульдой сдвига*.

Развитие процессов сдвига зависит от свойств пород, слагающих толщу над горной выработкой, и прежде всего от их прочности и способности к пластическим деформациям. В таких прочных, но непластичных породах, как песчаники, известняки, конгломераты, сдвигание происходит при значительной выработке пространства по площади, но зато оно будет развиваться быстро в форме обрушения с образованием трещин и провалов на земной поверхности. В пластичных породах (глины, глинистые сланцы, аргиллиты и т. п.) сдвигание начинается при значительно меньших размерах выработанного пространства. На поверхности земли это выражается в виде плавного прогибания, причем оно происходит постепенно, длительное время без каких-либо трещин на поверхности.

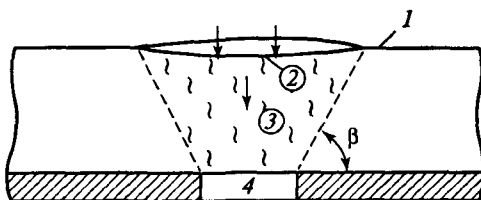
Значительную роль в формировании мульды играет чередование слоев. Например, если пластичные породы подстилают жесткие, прочные, то явление будет таким же, как если бы вся толща состояла из непластичных пород. Если пластичные породы будут подстилаться прочными породами, то деформации поверхности будут плавными. Существенную роль играет *трещиноватость*, которая ускоряет процесс сдвига, облегчая перемещение пластов и блоков пород в вертикальном направлении.

Величина осадки поверхности земли в пределах мульды различна и составляет 0,1—0,9 (чаще 0,6—0,7) от мощности разрабатываемого пласта или высоты подземной выработки. Глубина центральной части мульды сдвига колеблется от долей метра до 1—2 м. Так, в Донбассе при пологом залегании пластов каменного угля осадка составляет 50—60 % мощности пласта, т. е. при пласте в 1 м осадка поверхности земли достигает 50—60 см, а при наклонных пластах с углом падения больше 45° — (30—50) %.

Размер площади мульды превышает размер выработанного пространства. Это связано с подвижкой пород не только над выработкой, но и в сторону от нее под некоторым углом, который получил название угла сдвига (рис. 172). Его величина зависит от состава и состояния пород. Для коренных пород Донбасса, например, при горизонтальном положении пластов угол составляет 85°, для четвертичных наносов — 60°.

Р и с. 172. Мульда сдвижения пород:

1 — нормальная поверхность земли; 2 — поверхность мульды; 3 — деформирующийся массив пород; 4 — подземная выработка; β — угол сдвижения



Величину осадки поверхности земли (прогиба мульды), площадь мульды и наклон ее бортов определяют расчетным путем и специальными наблюдениями с помощью инструментов и реперов.

Оседание мульды длится месяцы и годы, что связано с глубиной залегания выработок. По некоторым данным, в Донбассе общая продолжительность процесса сдвижения при глубине залегания выработки до 100 м составляет 1 год, при 100—200 м — 2 года, при 200—300 м — около 3 лет и т. д. Скорость оседания поверхности земли зависит от соотношения глубины залегания выработки A_r (табл. 36).

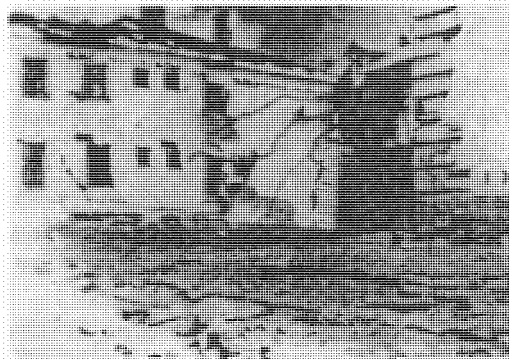
Таблица 36

Скорость оседания поверхности земли

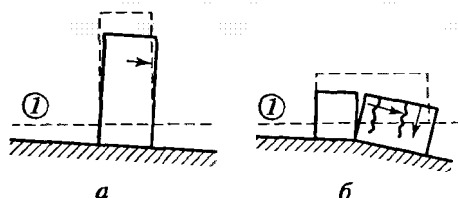
Глубина заложения подземных выработок, м	Средняя скорость осадки, мм/сут
До 100	16
100—200	8
200—300	3
300—400	2

Провалы поверхности земли образуются в результате обрушения грунтов в горные выработки. Размеры провалов различны. Наиболее значительные провалы характерны для крутозалегающих пластов. В Кузбассе такие провалы тянутся на десятки километров по простиранию крутозалегающих пластов.

При строительстве в районах подземных выработанных пространств необходимо учитывать возможность возникновения мульды сдвижения, так как наклон, искривление и оседание земной поверхности обуславливают деформации и даже разрушение наземных сооружений. В центральной части мульды осадки зданий происходят более или менее равномерно. На этом участке деформации проявляются в меньшей степени. На окраинах мульды, где наклон и искривление земной поверхности велики, здания подвергаются неравномерным осадкам и значительно деформируются (рис. 173). Высокие сооружения (башни, трубы и т. д.) при этом получают опасный крен (рис. 174).



Р и с. 173. Разрушение здания на участке мутьды



Р и с. 174. Опасный крен (а) и разрушение здания при наклоне и образовании кривизны на поверхности земли на участках мутьды (б):

1 — первоначальное положение поверхности земли

При проектировании объектов необходимо предусмотреть конструктивные или защитные мероприятия. Выбор мероприятий зависит от ожидаемой величины деформации земной поверхности. При очень небольших деформациях специальные меры защиты не применяются. При значительных деформациях и провалах земной поверхности строительство нецелесообразно. В остальных случаях при строительстве на *подрабатываемых территориях* можно применять следующие меры:

- рациональную ориентировку здания по отношению мутьды сдвижения;
- повышение расчетного сопротивления грунтов основания;
- разрезку зданий на отсеки;
- повышение прочности несущих конструкций и приспособление их к неравномерным осадкам;
- усиление фундаментов;
- использование высококачественных строительных материалов и повышенное качество строительных работ;
- рациональные способы ведения горных работ, например, проходку горных выработок на глубинах, при которых опасные деформации поверхности земли не возникают.

На участках, где процесс сдвижения уже закончился, строительство осуществляется без каких-либо предохранительных мероприятий.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

В этом разделе сначала дается описание инженерно-геологических исследований, которые необходимо проводить на территории будущего строительства; затем показывается содержание инженерно-геологических изысканий под конкретные строительные объекты.

Глава 32

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Роль и место инженерной геологии в строительстве зданий и сооружений показаны в табл. 37. Техническое задание на инженерно-геологические изыскания выдает инженер-строитель, занимающийся проектированием объекта. В связи с этим инженер-строитель должен владеть определенными знаниями по инженерной геологии. Далее изыскания выполняет специализированная изыскательская организация. Каждая изыскательская организация, в том числе и по инженерно-геологическим изысканиям, специализируется, как правило, по определенному виду строительства — промышленно-гражданскому, дорожному, гидротехническому и др. Результаты изысканий в виде инженерно-геологического отчета передаются строительной проектной организации, где ведется проектирование объекта. В этой работе, как и при строительстве объекта, обязательно принимает участие инженер-геолог. В период эксплуатации объекта в ряде случаев также требуется участие инженера-геолога, чаще всего это бывает в связи с нарушением нормальной эксплуатации объекта (деформация зданий, подтопление фундаментов, оползневые процессы и т. д.).

Роль инженерной геологии в строительстве объектов

Этап строительства	Вид работ	Организация	Исполнитель
1	Инвестиции	Заказчик	Заказчик
2	Техническое задание на инженерно-геологические изыскания	Проектная	Инженер-строитель
3	Инженерно-геологические изыскания	Изыскательская	Инженер-геолог
4	Проектирование	Проектная	Инженер-строитель при участии инженера-геолога
5	Строительство	Строительная	То же
6	Эксплуатация объекта	Заказчик	»
7	Реконструкция или ликвидация	Строительная	»

В последнее время значительное место в строительной практике занимает вопрос реконструкции, перепрофилирования и реставрации зданий и сооружений, как правило, в пределах существующей городской застройки. Это накладывает особую ответственность на инженеров-геологов, которые должны оценить степень изменений в геологической среде за период эксплуатации зданий и сооружений и выработать рекомендации по дальнейшим проектным решениям в связи с изменившейся геологической обстановкой.

Цель инженерно-геологических исследований — получить необходимые для проектирования объекта инженерно-геологические материалы.

Задача исследований — изучение геологического строения, геоморфологии, гидрогеологических условий, природных геологических и инженерно-геологических процессов, свойств горных пород и прогноз их изменений при строительстве и эксплуатации различных сооружений.

Ведение инженерно-геологических изысканий регламентируется основным нормативным документом в строительстве «Строительными нормами и правилами» СНиП 11.02—96 «Инженерные изыскания для строительства» и комплексом сводов правил.* Дан-

* С 01.07.03 г. принят Закон РФ «О техническом регулировании», переводящий указанные документы в разряд рекомендательных, что, однако, не меняет их значимость для организации инженерных изысканий для строительства.

ные документы определяют порядок, состав, объем и виды выполняемых работ изысканий для различных этапов проектирования, строительства и эксплуатации объектов и различных геологических обстановках, а также состав документации по результатам изысканий, порядок их предоставления и приемки, а также ответственность исполнителей и заказчиков (проектировщиков).

Состав исследований определяется программой, согласованной с проектной организацией. В состав работ входят: сбор, изучение и анализ имеющихся геологических материалов по району строительства; инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка; буровые и горно-проходческие разведочные работы; геофизические исследования; опытные полевые работы; стационарные наблюдения; лабораторные исследования грунтов и подземных вод; камеральная обработка и составление отчета.

Во всех случаях исследования должны начинаться со сбора имеющихся материалов о природных условиях района (геологическом строении, гидрогеологических условиях, климате, гидрологии, почвенном покрове, топографии). Эту работу выполняют в подготовительный период до начала полевых работ; изучают материалы, хранящиеся в геологических фондах и других организациях, опубликованные работы, собирают данные об опыте строительства и эксплуатации аналогичных сооружений в местных природных условиях. Тщательный сбор и анализ имеющихся материалов, дополненный в ряде случаев рекогносцировочным обследованием района, позволяет целенаправленно составить программу исследований и значительно сократить их объем.

После проведения необходимых организационно-хозяйственных мероприятий изыскательский отряд или партия выезжает на место будущего строительства и приступает к полевым работам (съемка, буровые, геофизические и другие работы).

Окончательная обработка полевых материалов и результатов лабораторных анализов производится в стационарных условиях в течение камерального периода. Камеральная обработка материалов завершается составлением инженерно-геологического и гидрогеологического отчетов.

Объем выполняемых инженерно-геологических исследований бывает различен. Это связано со стадией проектирования (предварительные или детальные исследования), геологической изученностью района (изученный, малоизученный, неизученный), сложностью геологического строения (сложные складки, горизонтальное залегание слоев и т. д.), особенностями свойств грунтов (грунты, требующие и не требующие специальных работ), конструктивными особенностями сооружений и их капиталностью.

Основной объем инженерно-геологических работ приходится на исследования, проводимые в *период до проектирования*. На этом

этапе инженерно-геологические исследования обеспечивают получение необходимых данных, связанных с геологическими условиями местности, со свойствами грунтов и получением инженерных выводов. Геологическое изучение местности позволяет выявить лучший участок для строительства, влияние различных процессов на сооружение и влияние самого сооружения на природную обстановку. Изучение грунтов позволяет определить их свойства, решить вопрос о необходимости улучшения их свойств и составить представление о наличии в данном районе тех или иных строительных материалов. Важное место занимают инженерные выводы. При этом устанавливается глубина заложения фундаментов и величина допускаемых давлений на грунт, прогнозируются устойчивость сооружения, величины ожидаемых осадков и т. д.

В период строительства при проходке котлованов производят сверку наблюдаемых геологических и гидрогеологических данных с геологическими материалами, полученными в период инженерно-геологических исследований до проектирования. При наличии расхождений назначают дополнительные инженерно-геологические работы для подтверждения правильности выполненного проекта или внесения в него необходимых исправлений.

При эксплуатации зданий и сооружений во многих случаях целесообразны работы, связанные с подтверждением прогноза устойчивости объектов. Так, проводят наблюдения за характером и величиной осадок, режимом грунтовых вод и рек, размывом берегов, устойчивостью склонов и т. д. К этому периоду относят также работы, получившие название инженерно-геологической экспертизы. Задачей таких исследований является установление причин возникновения деформаций зданий и сооружений и решение вопросов по их устранению.

Инженерно-геологические работы обычно выполняют в три этапа:

1) подготовительный; 2) полевой; 3) камеральный.

Подготовительные работы включают изучение района по архивным, фондовым и литературным материалам. Осуществляется подготовка к полевым работам.

В полевой период производят все инженерно-геологические работы, предусмотренные проектом для данного участка:

- инженерно-геологическую съемку;
- разведочные (буровые и горно-проходческие) работы и геофизические исследования;
- опытные полевые исследования грунтов;
- изучение подземных вод;
- анализ опыта местного строительства и т. д.

В течение *камерального* периода производят обработку полевых материалов и результатов лабораторных анализов, составляют инженерно-геологический отчет с соответствующими графическими приложениями в виде карт, разрезов и т. д.

Инженерно-геологический отчет является итогом инженерно-геологических изысканий. Отчет передается проектной организации, и на его основе выполняется необходимая проектная документация для строительства. В общем виде отчет состоит из введения, общей и специальной частей, заключения и приложений. Во введении указывают место проведения изыскательских работ и время года, исполнителей и цель работ. В общей части, в ее отдельных главах дается описание:

- рельефа, климата, растительности, населения;
- геологической обстановки с приложением геологических карт и разрезов;
- карт строительных материалов, которые необходимы для выполнения строительных работ.

В специальных главах большое внимание уделяется грунтам и подземным водам. Грунты являются основным объектом исследований, поэтому указываются: какие грунты, их свойства, выраженные в цифрах, что необходимо для определения расчетных характеристик, пригодность грунтов для строительства объекта.

Подземные воды оцениваются в двух направлениях: как источники водоснабжения при строительстве и эксплуатации объекта и как они могут помешать строительству. В этих случаях даются рекомендации по строительному водопонижению и устройству дренажей на период эксплуатации объекта.

В заключительной части отчета дается общая инженерно-геологическая оценка участка по пригодности для данного строительства, указываются наиболее приемлемые пути освоения территории, заостряется внимание на вопросах охраны окружающей среды.

Отчет обязательно должен иметь приложение, в котором дается различный графический материал (карты, разрезы, колонки скважин и др.), а также таблицы свойств грунтов, химических анализов воды, каталог геологических выработок и др.

Инженерно-геологический отчет должен давать ответы на все вопросы, которые стоят перед строителем, но семь из этих ответов являются главными. Это фактически семь основных требований к инженерно-геологическим изысканиям. К ним относятся: 1) оценка общих условий территории; 2) обеспечение геологическими данными для выбора типа основания и конструкций фундамента; 3) определение характера воздействия на грунты динамических нагрузок; 4) возможное влияние на устойчивость

объекта инженерно-геологических процессов; 5) влияние на объект подземных вод; 6) состав и свойства грунтов как несущих оснований и особенности производства земляных работ; 7) прогноз влияния объекта на природную среду, в частности, по загрязнению земли, атмосферы и гидросферы.

Инженерно-геологические заключения. В практике инженерно-геологических исследований очень часто вместо больших отчетов приходится составлять инженерно-геологические заключения. Выделяются три вида заключений: 1) по условиям строительства объекта; 2) о причинах деформаций зданий и сооружений и 3) экспертизы. В первом случае заключение носит характер сокращенного инженерно-геологического отчета. Такое заключение может быть выполнено для строительства отдельного здания.

Заключение о причинах деформаций зданий и сооружений могут иметь различное содержание и объем. В их основу кладутся материалы ранее проведенных исследований, осмотр местности, сооружения. При необходимости дополнительно выполняется небольшой объем инженерно-геологических исследований. Заключение должно вскрыть причины деформаций и наметить пути их устранения.

Инженерно-геологическая экспертиза проводится, главным образом, по проектам крупных сооружений. Основой для экспертизы является наличие спорных и разноречивых оценок природных условий (в процессе изысканий) или аварий сооружений (в процессе их эксплуатации).

Экспертиза силами квалифицированных специалистов устанавливает:

- правильность приемов исследований;
- достаточность объемов работ;
- правомерность выводов и рекомендаций;
- причины аварий и т. д.

По объему работы экспертиза бывает *кратковременная* и *длительная*. В первом случае вопрос решается практически сразу. Выводы излагаются в виде заключения. Во втором случае экспертиза кроме изучения имеющихся материалов требует выполнения специальных работ по определенной программе с указанием сроков. По окончании работ выводы могут быть изложены в виде заключения или даже небольшого инженерно-геологического отчета.

Экспертиза должна давать ответ на поставленные вопросы, содержать необходимые конкретные рекомендации, обоснования и доказательства целесообразности предлагаемых инженерно-технических мероприятий.

Инженерно-геологическая съемка представляет собой комплексное изучение геологии, гидрогеологии, геоморфологии и других естественно-исторических условий района строительства. Эта ра-

бота дает возможность оценить территорию со строительной точки зрения.

Масштаб инженерно-геологической съемки определяется детальностью инженерно-геологических исследований и колеблется от 1:200 000 до 1:10 000 и крупнее. Основой для проведения съемки служит геологическая карта данной территории.

Геоморфологические исследования уточняют характер рельефа, его возраст и происхождение. При геологических работах определяют условия залегания пород, их мощность, возраст, тектонические особенности, степень выветрелости и т. д. Для этой цели изучают естественные обнажения, представляющие собой выходы на поверхность слоев горных пород на склонах гор, оврагов, речных долин. Для каждого слоя записывают наименование породы, окраску, состав, примеси, измеряют видимую мощность и элементы залегания. На карте указываются местонахождения обнажений. Наиболее характерные для данного района обнажения зарисовывают и фотографируют.

Районы, где наблюдается большое количество обнажений, называют *открытыми*, при отсутствии их — *закрытыми*. В закрытых районах геологическое строение изучают с помощью разведочных выработок (буровых скважин, шурфов и т. д.). Выработки документируются. Одновременно из них отбирают пробы образцов пород для лабораторных исследований.

При инженерно-геологической съемке изучают гидрогеологические условия для выяснения обводненности пород, глубины залегания подземных вод, их режима и химического состава; выявляют геологические явления и процессы (обвалы, осыпи, оползни, карст и т. д.), которые могут негативно отразиться на устойчивости и нормальной эксплуатации зданий и сооружений, изучают опыт строительства на данной территории, определяют физико-механические свойства пород полевыми методами, а также в специальных полевых лабораториях.

В процессе инженерно-геологической съемки производят поиски месторождений естественных строительных материалов.

На основе полученных данных составляют инженерно-геологическую карту района строительства. Это дает возможность произвести инженерно-геологическое районирование территории и выделить участки, наиболее пригодные под строительство крупных объектов (промышленные предприятия, жилые микрорайоны и т. д.).

Аэрокосмические методы. Для ускорения сроков съемочных работ и повышения их качества используют аэрометоды, которые особенно эффективны в районах, труднодоступных для наземного изучения (заболоченные низменности, пустыни и т. д.). Широкое распространение в современных условиях получили методы

космической съемки, для которых разработана специальная аппаратура, методики дешифрирования снимков, позволяющие получать высокоточную и достоверную геологическую информацию.

Буровые и горнопроходческие разведочные работы являются существенной частью инженерно-геологических и гидрогеологических полевых исследований. С помощью буровых скважин и горных выработок (шурфов, штолен и др.) (рис. 175) выясняют геологическое строение и гидрогеологические условия строительной площадки на необходимую глубину, отбирают пробы грунтов и подземных вод, проводят опытные работы и стационарные наблюдения.

К главнейшим разведочным выработкам относят расчистки, канавы, штольни, шурфы и буровые скважины. При инженерно-геологических работах наиболее часто используют шурфы и буровые скважины.

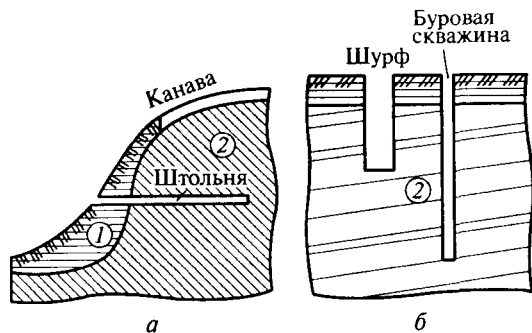
Расчистки, канавы и штольни относят к горизонтальным выработкам. Их целесообразно применять на участках, сложенных крутопадающими слоями. При слабонаклонном и горизонтальном залегании слоев следует проходить шурфы и буровые скважины.

Расчистки — выработки, применяемые для снятия слоя рыхлого делювия или элювия с наклонных поверхностей естественных обнажений горных пород.

Канавы (траншеи) — узкие (до 0,8 м) и неглубокие (до 2 м) выработки, выполняемые вручную или с помощью техники с целью обнажения коренных пород, лежащих под наносами.

Штольни — подземные горизонтальные выработки, закладываемые на склонах рельефа и вскрывающие толщи горных пород в глубине массива. Стены штольни, как правило, крепятся, если их проходят в нескольких породах.

Шурфы — колодцеобразные вертикальные выработки прямоугольного (или квадратного) сечения. Шурф круглого сечения



Р и с. 175. Разведочные выработки:

а — горизонтальные (штольня, канавы); *б* — вертикальные (шурф, буровая скважина); *1* — делювиальные отложения; *2* — коренные породы

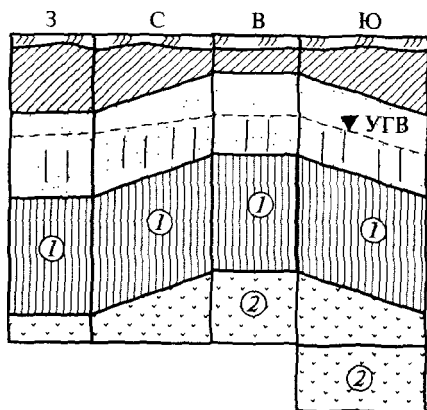
называют «дудкой». Проходку дудок легче механизировать, но по прямоугольным шурфам проще и точнее определить положение слоев в пространстве. Шурфы помогают детально изучать геологическое строение участка, производить отбор любых по размеру образцов с сохранением их структуры и природной влажности. Недостатком является высокая стоимость и трудоемкость работ по отрывке шурфов, особенно в водонасыщенных породах. Следует отметить, что за последнее время появились специальные шурфокопательные машины, позволяющие проходить шурфы круглого сечения. Размер шурфов в плане зависит от их предполагаемой глубины. Чаще всего это 1 × 1 м; 1 × 1,5 м; 1,5 × 1,5 м и т. д. Диаметр дудок не превышает 1 м. Обычно глубина шурфа бывает 2—3 м, максимально до 4—5 м.

По мере проходки шурфа непрерывно ведут геологическую документацию — записывают данные о вскрываемых породах, условиях их залегания, появлении грунтовых вод; производят отбор образцов. По всем четырем стенкам и дну делают зарисовку и составляют развертку шурфа (рис. 176). Это позволяет более точно определить мощность слоев и элементы их залегания в пространстве.

По окончании разведочных работ шурфы тщательно засыпают, грунт утрамбовывают, а поверхность земли выравнивают.

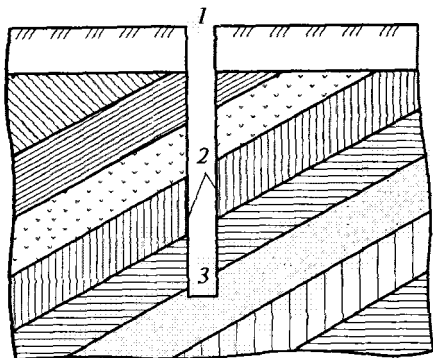
Буровые скважины представляют собой круглые вертикальные или наклонные выработки малого диаметра, выполняемые специальным буровым инструментом. В буровых скважинах различают устье, стенки и забой (рис. 177).

Бурение является одним из главнейших видов разведочных работ, применяется в основном для исследования горизонтальных или пологопадающих пластов. С помощью бурения выясняют состав, свойства, состояние грунтов, условия их залегания. Вся эта



Р и с. 176. «Развертка» шурфа:

1 — стенки; 2 — дно



Р и с. 177. Буровая скважина:

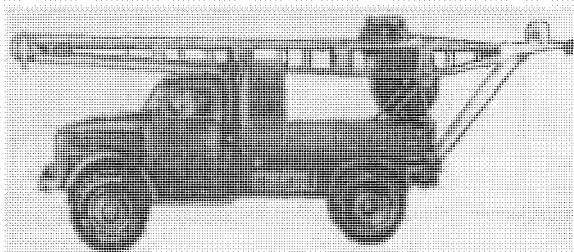
1 — устье; 2 — стенки; 3 — забой

работа основывается на исследовании образцов пород, которые непрерывно извлекаются из скважины по мере ее углубления в процессе бурения. В зависимости от способа бурения и состава пород образцы могут быть ненарушенной или нарушенной структуры. Образцы ненарушенной структуры получили название *керна*.

К преимуществам бурения относят: скорость выполнения скважин, возможность достижения больших глубин, высокую механизацию производства работ, мобильность буровых установок. На рис. 178 показана буровая установка, смонтированная на автомобиле. Бурение имеет свои недостатки: малый диаметр скважин не позволяет производить непосредственный осмотр стенок, размер образцов ограничивается диаметром скважины, по одной скважине нельзя определить элементы залегания слоев.

Диаметр скважин, используемых в практике инженерно-геологических исследований, обычно находится в пределах 100—150 мм. При отборе образцов на лабораторные испытания скважины следует бурить диаметром не менее 100 мм. Глубина скважин определяется задачами строительства и может составлять десятки метров; при гидротехническом строительстве достигает сотен метров, при поисках нефти и газа — нескольких километров.

При инженерно-геологических исследованиях применяют такие виды бурения, которые позволяют получать образцы пород.

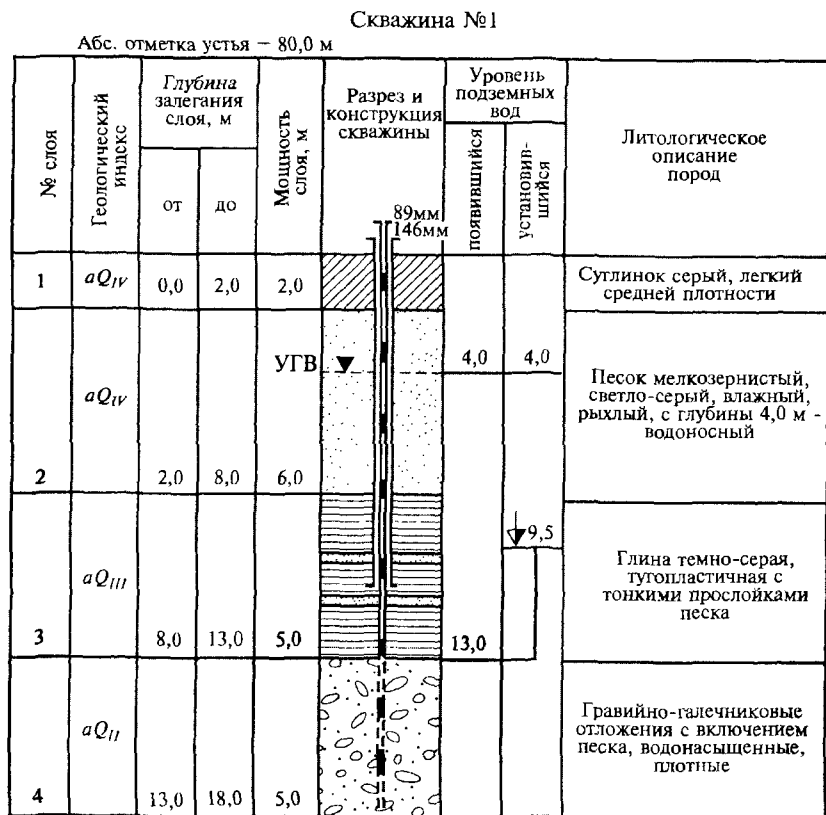


Р и с. 178. Буровая установка на автомобиле

Проходка скважин в слабых и водонасыщенных породах бывает затруднена вследствие обваливания и оплывания стенок. Для их крепления применяют стальные обсадные трубы, которые опускают в скважины и продолжают бурение.

По мере проходки буровой скважины оформляется ее геологическая документация в виде геолого-литологической колонки, на которой видно, как залегают слои, их мощность, литологический тип, глубина залегания уровня грунтовых вод, места отбора образцов пород в виде керна, возраст пород в индексах (рис. 179). Буровые колонки составляют в масштабе 1:100—1:500. После завершения бурения скважина засыпается.

Отбор образцов пород и проб воды. Отбор образцов производят из обнажений, буровых скважин, шурфов и других выработок. Пробы отбирают послойно, на всю глубину выработки, но не реже



Р и с. 179. Геолого-литологическая колонка буровой скважины

чем через каждые 0,5—1,0 м. Наиболее детально опробуется слой, который будет несущим основанием сооружений. Из всех образцов, полученных при инженерно-геологических исследованиях, 5—10 % отбирают для последующих лабораторных анализов.

Для инженерно-геологических работ обязателен отбор *монолитов*, т. е. образцов с сохранением их структуры. Особенно это важно при отборе образцов из слоев связных дисперсных пород (глины, суглинки), в которых кроме структуры необходимо сохранить природную влажность. В шурфах и обнажениях отбирают монолиты в форме, близкой к кубу, с размерами от 10 × 10 × 10 см до 30 × 30 × 30 см. Из буровых скважин с помощью грунтоносов отбирают цилиндрические монолиты высотой 20—30 мм. Монолиты немедленно парафинируют для сохранения их естественной влажности, т. е. обматывают слоем марли, пропитанной парафиногудронной смесью, подогретой до 60—65 °С. Монолиты предохраняют от сотрясения и промерзания и хранят обычно не более 1,5 месяцев.

Помимо монолитов, отбирают образцы нарушенной структуры и образцы рыхлых пород. Вес каждой такой пробы составляет до 0,5 кг.

Пробы подземной воды берут из каждого водоносного горизонта в количестве от 0,5 до 2 л. Количество отбираемой пробы зависит от вида химического анализа (полный или сокращенный) и степени минерализации воды. Вода набирается в чистую специальную емкость и тщательно закупоривается.

Геофизические методы исследования обычно сопутствуют разведочным работам и в ряде случаев позволяют значительно сократить объем шурфования и бурения. В большинстве случаев они применяются параллельно с другими исследованиями. С их помощью с определенной степенью достоверности можно изучать физические и химические свойства пород и подземных вод, условия залегания, движение подземных вод, физико-геологические и инженерно-геологические явления и процессы.

В практике инженерно-геофизических изысканий основное место занимают сейсмометрия и электрометрия.

Сейсмические методы основаны на различии в скоростях распространения упругих колебаний, возникающих как от естественных причин, так и от специально проводимых взрывов. В последнее время в инженерно-геологических работах используют разнообразные, в том числе одноканальные, микросейсмические установки. С их помощью можно установить глубину залегания скальных пород под наносами, выявить дно речных долин, карстовые полости, уровень грунтовых вод, мощность талых пород в

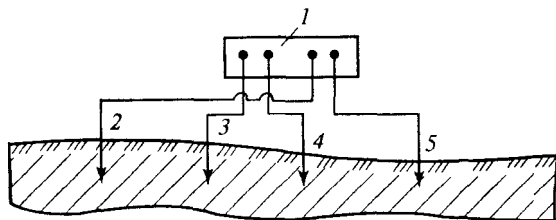
вечной мерзлоте и т. д. В сложных сейсмических и в городских условиях этот метод недостаточно точен.

Электроразведка основана на исследовании искусственно создаваемого в массивах пород электрического поля. Каждые породы, в том числе сухие и насыщенные водой, характеризуются своим удельным электрическим сопротивлением. Чем больше разнятся эти удельные сопротивления между собой, тем точнее результаты электроразведки для данной строительной площадки.

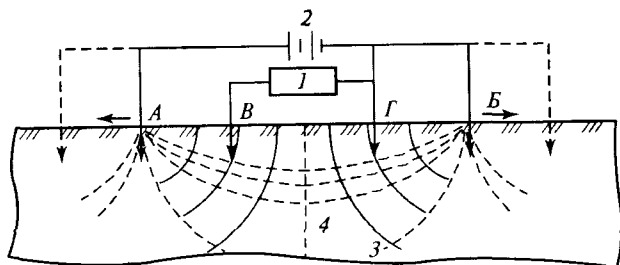
Наибольшее применение при инженерно-геологических исследованиях нашли электропрофилирование и вертикальное электрозондирование.

При **электропрофилировании** на исследуемом участке погружают в грунт серию электродов по намеченным створам и на каждом из них измеряют сопротивление пород путем перемещения прибора с фиксированным положением электродов (рис. 180). Это дает сведения об изменении на участке удельного сопротивления, что может быть связано, в частности, с наличием пустот карстового происхождения.

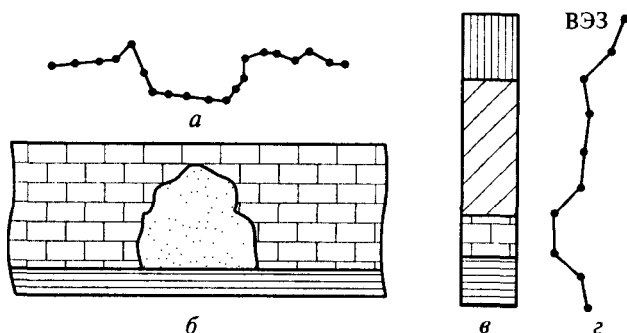
Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) позволяет определять глубину залегания коренных пород и уровень подземных вод, дна речных долин, выделять слои различного литологического состава, в том числе водопроницаемые и водоупорные пласты и т. д. Сущность этого метода заключается в том, что по мере увеличения расстояния между питающими электродами *А* и *Б* (рис. 181) линии токов перемещаются в глубину. Глубина электрического зондирования зависит от расстояния между точками *А* и *Б* и составляет в среднем $\frac{1}{3}$ (или $\frac{1}{4}$) этого расстояния. Измеряя силу тока между питающими электродами *А* и *Б* и разность потенциалов между приемными электродами *В* и *Г*, можно найти значения электрического сопротивления пород. По этим данным, например, можно уже построить геологический разрез. На рис. 182 показана кривая ВЭЗ в сопоставлении с данными бурения. Рисунок показывает, что ВЭЗ четко определяет геологическое строение данной толщи пород.



Р и с. 180. Электропрофилирование толщи пород: 1 — измерительный прибор; 2—5 — электроды



Р и с. 181. Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) толщи пород:
1 — потенциометр; 2 — источник питания; А, Б, В, Г — электроды; 3 — эквипотенциальные линии; 4 — линии тока



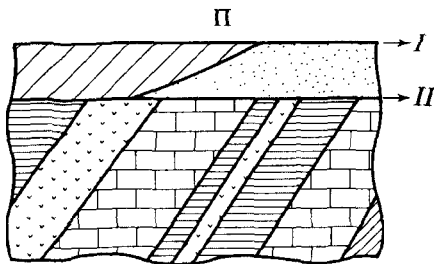
Р и с. 182. Электроразведка толщи пород:
а — электрофиль через карстовую полость, заполненную песком; б — карстовая полость с песком в известняках; в — буровая колонна; з — кривая ВЭЗ

Геологические карты и разрезы. После окончания работ по инженерно-геологической съемке и проходке буровых скважин и горно-проходческих выработок создаются геологические карты и разрезы, которые являются важнейшей и обязательной геологической документацией при решении вопросов строительства.

Карты составляются в основном для больших площадей, где намечается крупное строительство. Разрезы создаются во всех без исключения случаях строительства.

Геологические карты представляют собой проекцию геологических структур на горизонтальную плоскость. По этим картам можно судить о площади распространения тех или иных пород, условиях их залегания, дислокациях и т. д.

При построении геологических карт используют как базовую информацию топографические карты соответствующего масштаба.



Р и с. 183. Геологические карты:

I — четвертичных отложений; *II* — коренных пород; П — поверхность земли

Все карты подразделяют на карты коренных пород и четвертичных отложений (рис. 183).

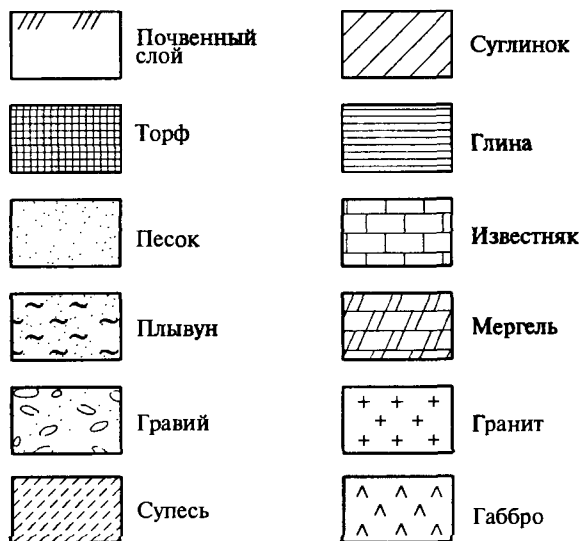
Четвертичные отложения покрывают поверхность земли почти сплошным чехлом, скрывая от глаз человека коренные породы, или, иначе говоря, породы дочетвертичного возраста. На *картах четвертичных отложений* принято показывать расположение в плане пород различного происхождения (речные, ледниковые и т. п.) и литологического состава, расположенных на поверхности земли (рис. 183, линия *I*).

Карты коренных пород показывают горные породы (характер залегания, литологический состав и т. д.), которые располагаются под четвертичными отложениями и скрыты от прямого наблюдения (рис. 183, линия *II*).

Среди геологических карт коренных пород выделяют несколько видов: стратиграфические, литологические и литолого-стратиграфические. Кроме того, для различных целей составляют карты специального назначения, среди которых основное место занимают инженерно-геологические, гидрогеологические и карты строительных материалов.

Стратиграфическая карта показывает границы распространения пород различного возраста. Породы одного и того же возраста на карте обозначают условными буквенными индексами и окрашивают одним цветом. Так, породы юрского периода — синим, мелового — зеленым и т. п. Стратиграфическая карта обычно сопровождается стратиграфической колонкой, которая отражает порядок напластования пород по их возрасту.

Литологическая карта отражает состав пород. Каждую породу обозначают типовым условным знаком (рис. 184). В практике геологических исследований для строительства чаще составляют литолого-стратиграфические карты, на которых показаны возраст и состав пород.



Р и с. 184. Условные обозначения пород на литологических и других видах карт и разрезов

Инженерно-геологические карты — это сведения о важнейших инженерно-геологических факторах в пределах изучаемой территории. Каждая инженерно-геологическая карта — понятие собирательное и состоит из собственно карты, условных обозначений, геологических разрезов и пояснительной записки.

Для составления инженерно-геологических карт используют карты топографические, геологические всех видов, гидрогеологических исследований, свойств породы и т. д.

Инженерно-геологические карты бывают трех видов: 1) инженерно-геологических условий, 2) инженерно-геологического районирования и 3) инженерно-геологические карты специального назначения.

Карта инженерно-геологических условий содержит информацию с расчетом на удовлетворение всех видов наземного строительства. Ее используют для общей оценки природных условий местности, где будет осуществлено строительство.

Карта инженерно-геологического районирования отражает разделение территории на части (регионы, области, районы и т. д.) в зависимости от общности их инженерно-геологических условий.

Карты специального назначения составляют применительно к конкретным видам строительства или сооружения. Они содержат оценку инженерно-геологических условий территории строительства и прогноз инженерно-геологических явлений (рис. 185).

Масштабы инженерно-геологических карт находятся в зависимости от их назначения и детальности содержания:

- общие обзорные (или схематические) карты мелкого масштаба (от 1:500 000 и мельче) отражают общие закономерности формирования и распространения инженерно-геологических условий на больших территориях;

- карты среднего масштаба (от 1:200 000 до 1:100 000) предназначены для обоснования проектирования строительства населенных пунктов, промышленных предприятий, отдельных гидротехнических сооружений и т. д.;

- детальные крупномасштабные карты (от 1:10 000 и крупнее) используют для обоснования проектирования при размещении конкретных объектов промышленного строительства, при застройке городских территорий и т. д.

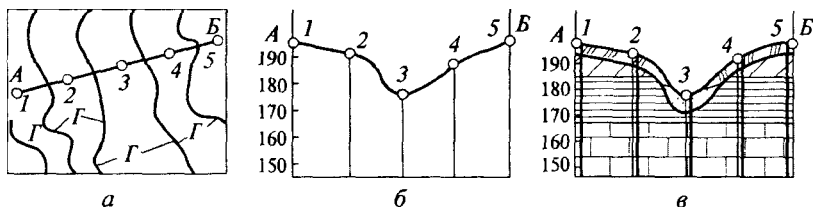
Геологические разрезы представляют собой проекцию геологических структур на вертикальную плоскость и являются важным дополнением геологических карт. Они позволяют выявить геологическое строение местности на глубине.

На геологическом разрезе показывают возраст, состав, мощность, условия залегания пород, гидрогеологические условия. В тех случаях, когда разрез отражает физико-геологические явления и свойства пород, его называют инженерно-геологическим разрезом.

Разрезы строятся по геологической карте или по данным разведочных выработок (шурфов, буровых скважин). Вертикальный масштаб разрезов обычно принимается в 10 и более раз крупнее горизонтального.

В качестве примера покажем порядок построения разреза по разведочным выработкам. Вначале закладывают линию разреза (рис. 186, а). Ее располагают так, чтобы можно было получить наиболее полное представление о геологическом строении территории с учетом размещения будущего сооружения или его отдельных частей, а в городских районах — в зависимости от наличия свободной от застройки площади. Линия разреза может быть прямой и ломаной.

По выбранной линии разреза строят топографический профиль поверхности земли (рис. 186, б). На профиль переносят точки, отражающие места заложения буровых скважин. Дальнейшее построение разреза осуществляют перенесением на профиль всех геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических данных (рис. 186, в). Каждый разрез оформляется соответствующим образом — указывается масштаб, наносятся стратиграфические индексы, даются условные обозначения пород, подземных вод, физико-геологических явлений и т. д.



Р и с. 186. Составление геологического разреза:

а — заложение на карте местности линии разреза *А—Б*; *б* — профиль местности по *А—Б*; *в* — геолого-литологический разрез; 1—5 — буровые скважины; Г — горизонталы

Кроме линейных разрезов при необходимости для отдельных участков строят блок-диаграммы из нескольких взаимопересекающихся линейных разрезов, что позволяет получить не только плоское, но и объемное изображение геологии участка.

Геологические разрезы имеют важное значение при общей инженерно-геологической оценке районов строительства и отдельных их участков, выборе слоев в качестве несущих оснований, изучении режима грунтовых вод и т. д. Любая инженерно-геологическая работа должна заканчиваться построением геологического разреза.

Выделение инженерно-геологических элементов на территориях строительных площадок. *Инженерно-геологический элемент (ИГЭ)* — это часть массива пород (слой, часть слоя и т. д.), практически однородная по возрасту, литологическому составу, показателям состояния и физико-механическим свойствам. Последнее является определяющим при выделении элемента. Объем инженерно-геологического элемента зависит от того, какой показатель физико-механических свойств пород положен в основу его выделения в процессе инженерно-геологических исследований. Выбор определяющего показателя тесно связан с инженерно-геологическими особенностями строительного участка, видом строительства и характером объекта.

Выделение инженерно-геологических элементов позволяет целенаправленно размещать здания (сооружения) на территории, выделенной под строительство, и дает возможность решать вопрос выбора модели работы основания фундаментов.

Г л а в а 33

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИРОДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В комплекс инженерно-геологических исследований под строительство входят поиски и разведка естественных строительных материалов, которые во многих случаях необходимы для строите-

льства объекта. Наличие строительных материалов в районе строительства часто играет решающую роль в выборе типа и конструкции сооружений. Скопление в земной коре определенных горных пород (или минералов), разработка которых представляет практический интерес, в частности для строительства, называется *месторождением*.

В состав месторождений входят горные породы, которые являются естественным строительным материалом либо сырьем для их производства. Все эти породы составляют так называемые *нерудные полезные ископаемые*.

К естественным строительным материалам относят различные горные породы (граниты, известняки, галечники и др.), которые можно использовать в строительной практике в естественном виде. Так получают строительный камень, песок, глину, щебень и т. д.

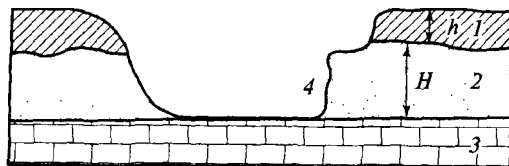
Во многих случаях горные породы являются лишь сырьем для изготовления искусственных строительных материалов. Так, мергели служат для получения цемента, глины и суглинки — для кирпича и т. д.

Нерудные полезные ископаемые в большинстве случаев добывают из открытых горных выработок. Совокупность таких выработок, предназначенных для этих целей, называют *карьером* (рис. 187).

В задачу инженерно-геологических исследований входят поиски и разведка месторождений нерудных полезных ископаемых. Поиски дают возможность найти месторождение (или карьер) необходимых материалов вблизи территории строительства. Выявленное месторождение подвергают разведке. При этом устанавливается качество, количество и условия залегания материалов.

Эта работа проводится на выбранной территории по предварительно разработанному плану, который составляется на основании изучения материалов предыдущих исследований (геологические карты и отчеты). Поиски должны решить следующие задачи:

- на выбранной территории обнаружить необходимое полезное ископаемое;



Р и с. 187. Разрез карьера месторождения:

1 — вскрышная порода (суглинок); 2 — полезное ископаемое (песок); 3 — подстилающая порода (известняк); 4 — забой; h и H — мощности слоев пород

- отобрать пробы для предварительной оценки материала;
- приближенно определить запасы месторождения;
- оценить целесообразность дальнейших разведочных работ.

Работа состоит из подготовительного и полевого периодов. В подготовительный период изучают литературу, геологические карты, фонды отчетов геологических организаций. На основе этого материала для данной территории составляется представление о месторождениях тех или иных нерудных полезных ископаемых. После этого в полевых условиях организуется осмотр намеченных месторождений, изучаются естественные обнажения и при необходимости закладывается небольшое количество разведочных выработок (расчистки, шурфы, буровые скважины).

В результате поисковых работ составляют карту-схему с указанием выявленных месторождений и карьеров полезных ископаемых, пояснительную записку с краткой характеристикой их размещения, качественной и количественной оценкой материала, изложением рекомендаций по дальнейшим работам.

Разведка месторождений. Различают разведку предварительную и детальную.

При *предварительной разведке* необходимо выполнить следующие работы:

- установить геологические условия залегания полезного ископаемого (глубина залегания, мощность вскрыши, т. е. пород, покрывающих полезное ископаемое, мощность и форма залегания полезной толщи, характер подземных вод и т. д.);
- определить границы распространения полезного ископаемого, т. е. оконтурить месторождение и выявить участки, наиболее пригодные для эксплуатации;
- подсчитать запасы (количество) материала месторождения;
- изучить качество материала полезного ископаемого;
- уточнить условия эксплуатации месторождения и возможность транспортировки строительного материала.

Целесообразность разработки месторождения устанавливается на основе технико-экономического анализа и во многом определяется соотношением между мощностью вскрышных пород H и мощностью слоя полезного ископаемого h . Отношение H/h носит название геологического коэффициента. Ценность месторождения повышается с уменьшением значения этого коэффициента. Экономически допустимо соотношение 2:1, для месторождений линзовидной формы допускают 1:1, но только в случае, если полезный слой залегает на глубине не более 3—5 м от поверхности.

Границы распространения месторождения устанавливают с помощью горных выработок (шурфов, буровых скважин), кото-

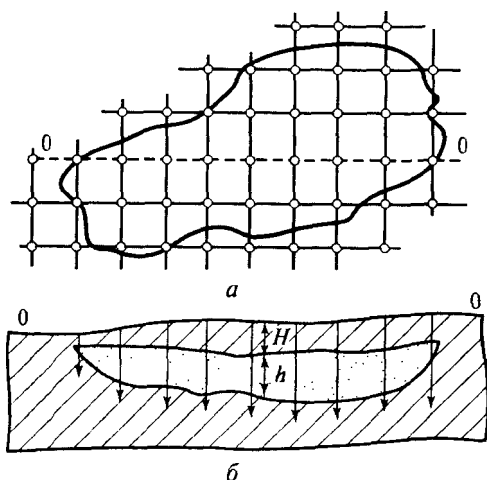
рые располагаются на пересечении линий правильной сетки (рис. 188, а). Расстояние между выработками чаще всего составляет 50—100 м и зависит от местных условий. При разведке скальных пород ограничиваются изучением имеющихся обнажений и заложением неглубоких шурфов (2—5 м) для определения мощности вскрыши и слоя элювия. При разведке осадочных пород горные выработки закладывают на глубину проходки всей толщи мощности слоя полезного ископаемого либо на глубину той части толщи, которая намечается к эксплуатации.

Разведочные горные выработки позволяют составить геологические разрезы, по которым можно судить о форме залегания полезного ископаемого, мощностях вскрыши и полезной толщи (рис. 188, б), решить вопрос о влиянии грунтовых вод на разработку месторождения.

Для изучения качества полезного ископаемого с помощью разведочных выработок отбирают характерные пробы. Для производства лабораторных испытаний необходимо взять следующее количество проб: песок 2—3 кг; гравий 10—15 кг; камень 15—20 кг и т. д.

Для детальной разведки выбирают один или несколько участков, которые наиболее полно отвечают требованиям технического задания. Основными задачами этой разведки являются: уточнение запасов, сбор дополнительных геологических и гидрогеологических данных и тщательное опробование полезного ископаемого.

В процессе проведения детальной разведки выявляются технические условия разработки месторождения, устанавливается



Р и с. 188. Определение площади месторождения заложением горных выработок по сетке и построение геологического разреза:

а — в плане; *б* — в разрезе; *H* — мощность вскрышных пород; *h* — мощность полезного ископаемого (песок)

способ разработки, определяется техника для ведения горных работ, намечается технологическая схема разработки полезного ископаемого и т. д.

Классификация запасов и подсчет количества строительного материала. Под *запасом* понимается комплекс данных, характеризующих геологическое тело по объему, форме, свойствам, условиям залегания и ведению горно-эксплуатационных работ. В России запасы полезных ископаемых классифицируют по категориям *A*, *B* и *C*, которую, в свою очередь, подразделяют на C_1 и C_2 . В каждое подразделение (категорию) вкладывается следующее содержание: *A* — запасы полностью изучены и оконтурены разведочными выработками; изучено качество, разработана технология добычи; *B* — запасы разведаны и оконтурены выработками; C_1 — запасы определены на основании редкой сетки разведочных скважин; C_2 — запасы, предполагаемые по общегеологическим данным, подтвержденные отдельными разведочными выработками.

Подсчет количества строительного материала в месторождении производят обычно среднеарифметическим методом или способом параллельных сечений. В первом случае вначале устанавливают среднюю мощность полезного ископаемого

$$h_{\text{ср}} = (h_1 + h_2 + \dots + h_n)/n$$

где $h_1, h_2 \dots h_n$ — мощность слоя полезного ископаемого в данном сечении; n — число сечений. Далее, зная площадь полезного ископаемого S , устанавливают его объем, м^3 :

$$V = Sh_{\text{ср}}.$$

Способ параллельных сечений (вертикальных разрезов) применяют при удлиненной форме месторождения и параллельном расположении разведочных линий. Геологический разрез составляют по каждой разведочной линии и с помощью планиметра определяют площадь полезного ископаемого. Объем запасов в блоке между двумя параллельными сечениями будет равен произведению полусуммы площадей этих сечений на расстояние между ними.

Для точных расчетов применяют другие, более сложные методы. Аналогичным путем определяют объем вскрышных пород, подлежащих удалению перед разработкой слоя полезного ископаемого.

Глава 34

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Общие положения. *Инженерно-геологические изыскания* являются начальным этапом строительства любого объекта и находятся в полной зависимости от вида объекта (промышленное предприятие, жилой дом, автомобильная дорога и т. д.). Поэтому изыскания под каждый вид объекта имеют свою специфику, свои особенности, но все изыскания имеют нечто общее, некоторый стандарт.

Результаты инженерно-геологических исследований в виде *отчета* поступают в строительную проектную организацию. Отчеты должны содержать для инженера-проектировщика материалы по основным позициям результатов инженерно-геологических изысканий:

- оценку в целом пригодности площадки для строительства данного объекта;
- геологический материал, позволяющий решать все вопросы по основаниям и фундаментам;
- оценку грунтового основания на восприимчивость возможных динамических воздействий от объекта;
- наличие геологических процессов и их влияние на устойчивость будущего объекта;
- полную характеристику по подземным водам;
- все сведения по грунтам, как для выбора несущего основания, так и для производства земляных работ;
- сведения по влиянию будущего объекта на природную среду.

Проектирование крупных объектов осуществляется по *стадиям*: технико-экономическое обоснование (ТЭО), технический проект и рабочие чертежи. Название стадий инженерно-геологических изысканий соответствует стадиям проектных работ, за исключением стадии ТЭО, где геологические работы получили название рекогносцировочных инженерно-геологических изысканий. Следует отметить, что в практике строительства последовательность стадий проектирования не всегда соблюдается. Проектирование крупных объектов может быть проведено в две стадии, проектирование жилого дома — в одну стадию. В соответствии с этими стадиями проводятся инженерно-геологические изыскания со своими инженерно-геологическими отчетами.

На ранних стадиях проектирования инженерно-геологические изыскания охватывают обширные площади, применяются не

очень точные, но сравнительно простые и экономичные технические средства. По мере перехода к более поздним стадиям площади изысканий сужаются и применяются более сложные и точные методы геологических работ.

На выделенной под строительство площадке на каждом отдельном этапе инженерно-геологические изыскания выполняют в определенной последовательности:

- собирают общие сведения по территории из литературных публикаций и архивных материалов изыскательских организаций; сведения о климате, рельефе, речной сети, населении и т. д.;
- инженеры-проектировщики совместно с инженером-геологом производят осмотр строительной площадки; определяют степень ее застройки, осматривают ранее построенные здания (сооружения), дорожную сеть, рельеф, растительность и т. д.; в целом определяют пригодность участка под застройку и вырабатывают техническое задание на изыскания;
- выполняют инженерно-геологические изыскания; в полевых условиях изучают геологическое строение площадки, гидрогеологию, геологические процессы, при необходимости на грунтах ставят опытные работы; отобранные пробы грунтов и подземных вод изучают в лабораториях;
- по окончании полевых и лабораторных работ в камеральный период составляют инженерно-геологический отчет, который защищают в проектной организации, после чего он становится определяющим документом и используется для проектирования объекта.

Ниже приводится краткое содержание инженерно-геологических изысканий, которые выполняются под различные строительные объекты.

Инженерно-геологические изыскания для строительства промышленных сооружений. Проектирование промышленных сооружений чаще всего выполняют в две стадии. Сначала разрабатывают проектное задание, а на его основе в последующем — технический проект и рабочие чертежи. По сложным объектам могут производиться дополнительные изыскания, необходимые для доработки и уточнения ранее выполненных изысканий. Иногда по отдельным несложным объектам исследования могут выполняться одновременно для проектного задания и рабочих чертежей.

Каждому этапу проектирования предшествуют свои инженерно-геологические изыскания: проектному заданию — предварительные, рабочим чертежам — детальные.

Промышленное предприятие представляет собой сложный комплекс различных зданий и сооружений. Поэтому параллельно с изысканиями и проектированием основного сооружения вы-

полняют аналогичные работы по линиям связи, ЛЭП, магистральным трубопроводам, подъездным и внутризаводским путям автомобильных, железных и канатных дорог, по сооружениям водоснабжения, удалению отходов, канализации и т. д.

Предварительные изыскания. В тех случаях, когда это необходимо, вначале выполняют инженерно-геологические работы на уровне технико-экономического доклада (ТЭД). Инженерно-геологические изыскания в последнее время выполняют на стадии выбора инвестора. Основная цель — выбор строительной площадки. Далее работы проводят по изучению выбранной площадки. В тех случаях, когда площадка задана, инженерно-геологические исследования начинают непосредственно на этой площадке. На этом этапе осуществляют работу с целью общей инженерно-геологической оценки выбранной площадки. В состав исследований входят: инженерно-геологическая съемка; проходка разведочных выработок и геофизические работы; полевые опыты, работы по грунтам и подземным водам; лабораторные исследования и камеральные работы с составлением инженерно-геологического отчета.

Во многих случаях площадки характеризуются сложными, специфическими условиями. Это требует проведения дополнительных работ, состав и содержание которых зависят от особенностей условий площадок. К таким условиям относят районы сейсмические, заболоченные, техногенно загрязненные, карстовые, оползневые, а также площадки с вечномёрзлыми породами, лесовыми просадочными отложениями и участки, сложенные насыпными и намывными грунтами.

Все материалы работ обобщают и представляют в виде инженерно-геологического отчета с приложениями обзорной карты района строительства масштаба 1:25 000—1:100 000 с указанием границ изучаемой площадки, инженерно-геологической карты и разрезов, колонок разведочных выработок, таблиц показателей пород и подземных вод, графиков наблюдений, фотографий природных условий. Отчет дает общую инженерно-геологическую оценку площадки с учетом особенностей проектируемых зданий и сооружений.

Детальные изыскания. Эти изыскания чаще всего выполняют применительно к объединенной стадии проектирования — технический проект и рабочие чертежи. Их целью является детализация и уточнение инженерно-геологических данных, полученных на стадии проектного задания (предварительных исследований) для каждого здания и сооружения. Для проектирования второстепенных объектов бывает достаточно материалов предварительных исследований. В целях уточнения иногда дополнительно проходят одну-две буровые скважины.

На этой стадии основным являются разведочные выработки и опытные работы. Разведочные выработки располагают в зависимости от размещения фундаментов — по периметру или по осям здания. Количество выработок зависит от ряда факторов, в том числе от этажности здания и сложности геологического строения площадки. Ориентировочное расстояние между выработками дано в табл. 38.

Таблица 38

Ориентировочные расстояния между выработками, м

Сооружение	Геологические условия		
	простые	средние	сложные
Одноэтажное	60	30	7—15
Многоэтажное	30	15	7

Глубина разведочных выработок зависит от особенностей и сложности геологического строения. При небольшой глубине залегания скальных пород выработки должны быть на 0,5—1 м врезаны в эти породы. В случае если строительная площадка сложена более или менее однородной толщей достаточно прочных пород (глины, суглинки и т. д.), глубина выработок принимается равной полуторной-двойной ширине фундаментов, но не менее 6—8 м. При более сложных условиях их глубина доводится до 20—25 м и более.

На участках распространения (водонасыщенных песков, илов и т. д.) скважины должны достигнуть их и на 2—3 м войти в породы, которые могут служить надежным основанием. Ориентировочные глубины скважин приведены в табл. 39.

Таблица 39

Ориентировочные глубины скважин, м

Ширина здания, мм	Количество этажей			
	1	2	3	4
30	3	6	10	16
120	4	10	14	24

Полевые опытные инженерно-геологические работы производят только под наиболее ответственные сооружения. Их целью является уточнение прочностных и деформативных показателей грунтов в пределах контура здания. Опытные гидрогеологические работы выполняют для получения окончательных данных для расчетов дренажных сооружений, определения притоков воды в котлованы и др.

По окончании изысканий этого этапа составляется инженерно-геологический отчет, дающий исчерпывающие данные по грунтам оснований отдельных зданий и сооружений и агрессивности грунтовых вод. В отчете приводятся также рекомендации по проведению мероприятий, обеспечивающих защиту фундаментов, подземных сооружений и перечень прочих инженерных мероприятий, обеспечивающих устойчивость зданий и сооружений в период их строительства и эксплуатации.

Инженерно-геологические изыскания для градостроительных работ. Проектирование городского и поселкового строительства осуществляется стадийно. В настоящее время оно складывается из проектов: планировки и плана размещения первоочередного строительства; детальной планировки и проекта застройки.

Соответственно этому инженерно-геологические исследования проводят также по стадиям, применительно к каждому виду проектирования.

Исследования для проекта планировки и плана размещения первоочередного строительства. Инженерно-геологические исследования для проекта планировки городов (поселков) должны дать оценку значительной территории с точки зрения возможности использования ее для строительства. Геологические работы проводят в сочетании с другими исследованиями и проектными проработками; экономическими, климатическими, гидрогеологическими, экологическими, санитарно-гигиеническими и т. д.

По изучаемой территории должны быть получены сведения о рельефе, гидрологии, климате, почвах, растительности, геологическом строении, гидрогеологии, природных геологических явлениях и инженерно-геологических процессах (оползнях, карсте, просадках, сейсмике и т. д.), составе и свойствах грунтов.

Инженерно-геологические изыскания проводят в три периода: подготовительный, полевой и камеральный. Инженерно-геологический отчет служит основанием для составления проекта планировки и плана размещения первоочередного городского и поселкового строительства.

Исследования для проекта детальной планировки. Проект детальной планировки существующего города (поселка) включает в себя архитектурно-планировочную и техническую организацию районов застройки первой очереди, устанавливает последовательность застройки, решает вопросы благоустройства, содержит проекты детальной планировки и застройки отдельных городских районов.

Основой инженерно-геологических исследований для проекта детальной планировки являются материалы, полученные при изысканиях для проекта планировки. Аналогичны состав и со-

держание работ и их последовательность (подготовительные работы, полевой период, камеральная обработка материалов).

На этой стадии проводят более детальное изучение геологической обстановки местности и свойств грунтов. Для этого закладывают дополнительные буровые скважины по створам вдоль новых или реконструируемых улиц, в местах специальных сооружений. Глубина скважин под сооружением в большинстве случаев достигает 8—10 м. При наличии слабых пород закладываются шурфы с отбором 2—3 образцов для проведения полного комплекса лабораторных исследований.

Исследования для проекта застройки. Проект застройки в пределах существующего города предусматривает строительство отдельных жилых домов (микрорайонов), кварталов, улиц и площадей. Проектирование проводят в две стадии — проектного задания и рабочих чертежей. Перед каждой стадией выполняют инженерно-геологические работы.

Изыскания для проектного задания освещают геологические и гидрогеологические условия всей изучаемой площадки, характеризуют инженерно-геологические свойства грунтов. В случае если для данной площадки ранее проводились изыскания для проекта планировки и проекта детальной планировки, то этих материалов вполне достаточно, чтобы не проводить новых исследований на стадии проектного задания застройки. При отсутствии каких-либо инженерно-геологических исследований изыскания проводят в составе и объеме, как это было показано выше для проекта планировки и проекта детальной планировки.

На стадии рабочих чертежей инженерно-геологические материалы могут быть оформлены в одном отчете.

При составлении рабочих чертежей возможны случаи назначения дополнительных исследований. Это связано, главным образом, с изменениями в размещении зданий или проверкой имеющих геологических материалов.

Инженерно-геологические изыскания для отдельных зданий. Инженерно-геологические работы под застройку отдельных зданий проводят, как правило, одновременно для проектного задания и рабочих чертежей, т. е. фактически в одну стадию. Изучению подвергается ограниченная площадка. Объем проводимых на ней работ зависит от сложности инженерно-геологических условий, которые подразделяют на три категории:

I категория — участки с простыми геологическими условиями; слои залегают горизонтально; несущая способность грунтов не вызывает сомнения; грунтовые воды под фундаментами залегают ниже активной зоны; мощность насыпных грунтов не превышает 2 м;

II категория — участки средней геологической сложности; толща сложена из 4—5 литологических различных слоев в виде складок; грунтовые воды залегают в пределах активной зоны; мощность насыпных грунтов составляет 3—4 м;

III категория — участки геологически сложные; расположены в пределах пересеченного рельефа; толща многослойная; залегание слоев складчатое; нарушенное; грунтовые воды залегают выше подошвы фундаментов; активная зона содержит грунты типа ила, торфа; мощность насыпных грунтов превышает 4 м; на участке развиты природные геологические процессы и явления.

Инженерно-геологические работы выполняют в обычном порядке. Отличие работ заключается только в том, что на площадках будущих высотных зданий (более 9 этажей) обязательно проводится изучение грунтов опытными нагрузками. Выполненные работы представляют в виде заключения об инженерно-геологических условиях площадки. При написании заключения большое внимание уделяют и обобщению опыта строительства эксплуатации зданий на соседних участках в сходных геологических условиях.

Инженерно-геологические изыскания в связи с надстройкой зданий, реконструкцией, перепрофилированием, изменением этажности зданий. В этом случае инженерно-геологические работы проводят для разработки проектов частичной или полной реконструкции зданий. Такие работы часто выполняют для районов городов со старой плотной застройкой в связи с увеличением этажности зданий или освоением подземных пространств.

Все работы проводят в один этап, не разделяя их на стадии проектного задания и рабочих чертежей. Строители изучают конструкцию здания с целью выявления возможности надстройки дополнительных этажей, а инженеры-геологи занимаются изучением грунтов оснований с целью создания новой подземной части здания. Если сохранился проект здания и материалы прежних инженерно-геологических изысканий, то объем работ может быть минимальным, хотя это достаточно редкие случаи. Всегда необходимо отобрать монолиты грунта для лабораторных анализов и проверить состояние здания. Если эти материалы не сохранились, то необходимо выполнить полный объем инженерно-геологических работ.

В состав полного объема инженерно-геологических исследований входит изучение геологических и гидрогеологических материалов по данной территории или для соседних участков, изучение геолого-литологического строения площадки, грунтовых вод, инженерно-геологических процессов и природных геологических явлений. С помощью шурфов определяют глубину заложения и

состояние фундаментов, стен подвалов, гидроизоляции, конструкцию дренажей и т. д.

Для решения всех геологических вопросов используют разведочные выработки. Количество выработок и их глубину устанавливают в зависимости от размеров здания, а также сложности геологического строения участка. Размер здания оценивают числом секций (секция — часть здания длиной не более 30 м). При 1 — 2 секциях бурят 4 скважины, при 3 — 4 — (4—6) скважин, более 4 — 8 скважин. Число шурфов устанавливают также количеством секций: 1 секция — 3 шурфа; 2 секции — 5; 3 — 4 секции — 7; более 4 секций — 10 шурфов. Указанное количество выработок может быть уменьшено для участков с простым геологическим строением. Глубину скважины h определяют по формуле

$$h = \sum h_1 + KB + c,$$

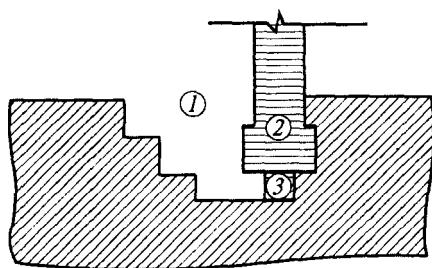
где h_1 — глубина заложения фундамента, м; K — глубина активной зоны основания, м; B — максимальная ширина подошвы фундамента, м; c — постоянная величина, равная для зданий до трех этажей — 2 м, свыше трех этажей — 3 м.

Буровые скважины располагают вокруг здания, а шурфы по характерным его сечениям — около фундаментов. Глубина шурфов должна быть ниже подошвы фундаментов (рис. 189). Монолиты отбирают с глубины заложения фундаментов и ниже через каждые 0,5 м проходки и в зависимости от смены слоя грунта — до нижней границы активной зоны основания.

При оценке грунтов как основания следует помнить, что под воздействием веса здания грунты уже в какой-то мере уплотнены и приобрели повышенную несущую способность. Такое состояние грунты приобретают для песков примерно через 1 год после окончания строительства, для супесей и суглинков — через 1,5—2 года и для глин — через 2—3 года. Вывод о том, что грунты уже имеют повышенную несущую способность, получают на основе сравнения характеристик образцов грунтов, взятых под подошвой фундаментов и вне контура здания.

Р и с. 189. Расположение шурфа по отношению к фундаменту при проведении инженерно-геологического обследования:

1 — шурф; 2 — фундамент; 3 — место отбора монолита грунта



Удовлетворительное состояние здания и необходимая уплотненность грунтов позволяют произвести надстройку здания без уширения существующих фундаментов. Это значит, что на грунты основания можно допустить увеличение давления по отношению к фактическому на 25—35 %, а при особо благоприятных условиях даже на 45—50 %.

Все исследования, выполненные в связи с надстройкой здания, оформляют в виде инженерно-геологического заключения. Освоение подземного пространства под зданием требует большого внимания и во многом излагается ниже.

Инженерно-геологические изыскания для строительства подземных сооружений. К числу подземных сооружений, возводимых с поверхности, а затем перекрытых относят подземные резервуары, очистные канализационные сооружения, станции перекачки, а также различные объекты специального назначения. В последние годы в городском строительстве стали создавать подземные сооружения «горными» способами, что очень специфично.

Особенностью указанных «обычных» подземных сооружений является большое заглубление. Их фундаменты передают на грунт оснований небольшие давления, которые иногда даже меньше, чем давление от собственного веса грунта, вынуженного при отрывке котлована. В связи с этим при лабораторных исследованиях вопрос прочности грунтов не является главным. Значительно большее значение имеет устойчивость грунтов в откосах котлованов, особенно при наличии подземных вод, а также боковое давление грунтов на сооружение после осуществления засыпки пространств между стенками сооружений и откосами котлованов.

Все необходимые данные о геолого-литологическом строении участков, предназначенных под застройку, гидрогеологии, инженерно-геологических процессах дают буровые скважины. Глубина скважин определяется условием — забой скважины должен находиться на 5—6 м ниже проектируемого основания подземных сооружений. В том случае когда в этих пределах могут быть встречены неустойчивые породы, скважину углубляют до нижележащих устойчивых пород. Из скважины извлекают монолиты грунтов для лабораторных исследований, среди которых наибольшее значение имеют данные о сопротивлении грунтов сдвигу.

Большая глубина заложения сооружения в большинстве случаев приводит к контакту с подземными водами, поэтому изучают режим, состав и агрессивность подземных вод. Одновременно решаются вопросы водоотлива, если подземные воды препятствуют производству работ, а также конструкции дренажей на период эксплуатации сооружений. Результаты исследований оформляют в виде обычного инженерно-геологического отчета. Все эти работы

резко усложняются при создании новой подземной части уже существующего здания. Здесь необходимо разрабатывать специальную программу изысканий с привлечением методов «горной инженерии».

Инженерно-геологические изыскания для гидротехнического строительства (плотины, водохранилища и др.) являются наиболее сложными из всех видов изысканий под строительные объекты.

Состав и объем инженерно-геологических изысканий определяется тремя основными факторами:

- характером проектируемого сооружения;
- стадией проектирования;
- сложностью геологических условий района строительства.

По своему характеру гидротехнические сооружения разнообразны. Для целей гидроэнергетики и водоснабжения гидротехнические сооружения могут быть крупными и сложными объектами, в виде плотин, перекрывающих мощные реки, например Цимлянская плотина на р. Дон, и сравнительно малыми и простыми сооружениями в виде невысоких (менее 10 м) земляных плотин с небольшими чашами водохранилищ. Последние наиболее часто встречаются в сельских местностях, при поселковом строительстве, при решении вопросов обеспечения водой отдельных промышленных объектов.

В основе изыскательских работ для гидротехнического строительства лежит их стадийность. Для наиболее простых сооружений, например низкой земляной плотины и маленького водохранилища, возможно одностадийное проектирование с составлением техно-рабочего проекта. Для сложных сооружений предусматриваются несколько стадий проектирования.

Большое влияние на инженерно-геологические изыскания оказывает сложность геологического строения. Условия могут быть простые, сложные и весьма сложные. При простых геологических условиях объект строится на естественном основании, нагрузки на грунты не ограничиваются. Сложные условия требуют улучшения свойств грунтов и ограничения нагрузок. В весьма сложные геологические условия свойственны горным и сейсмическим районам, участкам развития карста, многолетней мерзлоты. Строительство в таких районах требует проведения сложных мероприятий по улучшению состояния и свойств грунтов, принятия специальных конструктивных решений.

В комплекс инженерно-геологических изысканий на всех стадиях работ входят инженерно-геологическая съемка и разведочные работы. Это позволяет решать общие геологические вопросы строения местности (долины реки, участка балки, оврага и т. д.). На более поздних этапах изысканий на первом месте стоят рабо-

ты по изучению характеристик и свойств грунтов, а также анализ гидрогеологических условий района (участка). При крупном гидротехническом строительстве возможно проведение опытных работ (по фильтрации, определению несущей способности грунтов и т. д.) и опытного строительства (опытный намыв дамб, опытные дренажи и т. д.).

При изысканиях под гидротехнические объекты важнейшее значение имеют работы по гидрогеологии. В районе плотины изучаются условия фильтрации. Особое внимание уделяется полевым работам (опытные откачки, нагнетания, наливов) и наблюдениям за режимом подземных вод. При оценке потерь воды из водохранилища кроме фильтрации следует учитывать возможность ее ухода через расположенные вблизи депрессии рельефа, подземные выработки, карстовые пустоты, трещины скальных массивов. Определяются возможность выщелачивания и механической суффозии грунтов; выходы напорных вод; вероятность развития оползней на склонах и в местах примыкания плотины к берегам; характер подтопления окружающей водохранилище территории, особенно населенных пунктов и промышленных объектов. Особое внимание должно уделяться изменению геологических и гидрогеологических, климатических, геоэкологических условий в зоне затопления водохранилищ.

Во всех случаях инженерно-геологических работ для проектирования гидротехнических сооружений производят поиск и разведку строительных материалов. Подсчет запасов выполняют из расчета превышения потребностей в 2—3 раза. В основном ведут поиски материала для отсыпки тела плотин. В период эксплуатации земляных плотин и водохранилищ важное значение имеют наблюдения за поведением грунтового тела плотины (осадки, сдвиги).

Необходимо отметить, что наибольшую сложность представляет собой строительство плотин и водохранилищ в районах многолетней мерзлоты и развития карста. Инженерно-геологические изыскания в этих случаях имеют ряд специфических особенностей. В районах многолетней мерзлоты производят мерзлотную съемку, замеры температур грунтов, специальные определения свойств и водопроницаемости грунтов. В процессе изучения карстовых районов устанавливают распространение и происхождение карстовых форм, закономерности развития, условия растворения грунтов фильтрационным потоком и скорость этого процесса.

Инженерно-геологические изыскания для линейного строительства. Создание крупных промышленных сооружений, городов (поселков) всегда сопровождается строительством различных объектов линейного характера, которые могут быть наземными (железные и автомобильные дороги), подземными (нефте- и газопроводы), воздушными (линии электропередач, подвесные канатные дороги).

Для каждого такого объекта характерны свои и вполне определенные особенности в проведении инженерно-геологических изысканий.

Одной из особенностей изысканий под линейное строительство является большая протяженность при малой ширине полосы изысканий. При изысканиях под такие объекты инженер-геолог практически сталкивается со всеми разделами инженерной геологии (общая геология, подземные воды, геодинамика поверхности земли и многое другое).

Инженерно-геологические изыскания для каждого вида линейных объектов выполняют по определенным нормативам, которые учитывают специфику объектов. Сопутствующие линейным объектам здания и сооружения проектируют в соответствии с документами для промышленно-гражданского строительства.

Как проводятся инженерно-геологические изыскания под линейные сооружения, в качестве примера покажем на строительстве трубопроводов.

Трубопроводы предназначаются для транспортировки различных жидкостей и газов. Большая протяженность, пересечение различных природных препятствий (горы, реки, болота и т. д.) заставляют проектировать трубопроводы подземные (в траншеях), подводные (на дне водоемов) и надземные (на опорах). По своей значимости трубопроводы разделяют на магистральные, ответвления и разводящую сеть.

Вдоль трубопроводов располагаются объекты обслуживания — насосные, водонапорные башни, резервуары, жилые дома и т. д. Инженерно-геологические работы под эти здания и сооружения проводят такие же, как для промышленного и городского строительства. При инженерно-геологических изысканиях исходят из того, что трубопроводы характеризуются незначительной удельной нагрузкой на грунты оснований (не более 0,02 МПа), но отличаются высокой чувствительностью к осевым перемещениям с повреждением стыковых соединений.

Для проектирования трубопроводов необходимо знать прочность грунтов оснований, характер грунта, который пойдет для засыпки траншей (или создания насыпей), рельеф местности, особенности строения речных долин и их эрозионную деятельность, глубину промерзания грунтов, сейсмичность, блуждающие электрические токи, наличие грунтовых вод и их агрессивность, характер берегов морей, озер и водохранилищ, а также процессы и природные геологические явления, которые могут отрицательно сказаться на устойчивости трубопроводов и затруднить работу по их укладке (оползни, карст, просадки, овраги, сели, осыпи и пр.).

Инженерно-геологические работы трасс трубопроводов проводят в две стадии: предварительные для обоснования проектного

задания и детали для рабочих чертежей. Иногда при сложных объектах перед предварительными исследованиями проводят рекогносцировочные работы с целью технико-экономического обоснования целесообразности строительства и поиска инвестиций.

Предварительные инженерно-геологические работы выполняют с целью обоснования выбора варианта трассы трубопровода. Намечают ряд вариантов трасс. Каждую трассу изучают в полосе шириной до 500 м. Особое внимание обращают на наиболее неблагоприятные участки (оползни, карст и т. д.), коррозионную активность, агрессивность грунтовых вод, выявление блуждающих токов. На этом этапе работ большое значение имеет аэрогеологическое обследование и аэрофотосъемка местности.

В инженерно-геологическом отчете дается сравнительная инженерно-геологическая характеристика всех вариантов трасс трубопроводов с представлением инженерно-геологических карт и разрезов. Рекомендуются наиболее благоприятный в инженерно-геологическом отношении вариант трассы.

Детальные инженерно-геологические работы производят на окончательно выбранном варианте трассы. К материалам, полученным на предварительном этапе, добавляют новые исследования, в том числе анализы коррозионной активности грунтов и агрессивность грунтовых вод.

Разведочные выработки выполняют в основном в виде буровых скважин. На каждый километр задают в среднем две скважины. Глубина выработок назначается с учетом возможной глубины заложения трубопроводов и глубины промерзания грунтов. Чаще всего это 3—5 м, а на болотах и переходах через водотоки 1—15 м. При необходимости из скважины отбирают образцы грунтов и пробы подземных вод.

Для выявления границ скальных, илистых или торфянистых грунтов закладывают дополнительные выработки. То же самое делают на участках переходов через реки, растущие овраги, большие ущелья.

При пересечении трассой трубопровода районов со сложными инженерно-геологическими условиями к обычным исследованиям добавляют специальные работы, значительно увеличивая при этом количество разведочных выработок. К таким районам относят оползневые и карстовые участки, многолетнюю мерзлоту, сейсмические территории, площади с развитием лессовых просадочных грунтов, болота, засоленные грунты, участки с горным рельефом и др. Так, в районах развития лессовых просадочных грунтов дополнительно следует установить тип и толщину зоны просадочных пород; на заболоченных территориях изучают условия формирования болот, устанавливают их тип, строение и состав; в карстовых районах исследуют морфологию, возраст и дру-

гие особенности карста, выделяя при этом участки, пригодные и непригодные под строительство, а также пригодные после проведения специальных мероприятий. В районах вечной мерзлоты устанавливают тип мерзлоты (сплошная, слоистая), мощность мерзлых пород, склонность к пучинистости деятельного слоя, наличие наледей. В горных районах особое внимание уделяют возникновению селей, оползней, осыпей, обвалов, снежных лавин и выявляют возможное их воздействие на трубопроводы.

Детальные исследования оформляются в виде инженерно-геологического отчета, который дает основание для разработки рабочих чертежей зданий и сооружений.

Некоторые особенности инженерно-геологических изысканий на техногенно загрязненных территориях. Под техногенно загрязненными территориями понимаются территории, подвергшиеся изменениям в результате антропогенных воздействий разного рода, происхождения, интенсивности и продолжительности. Внутри этих территорий происходят значительные процессы в абиотической составляющей антропогенных экосистем, прежде всего, в городах, населенных пунктах, промышленных зонах. Важнейшим объектом изучения являются в первую очередь техногенные грунты, а также инициированные техногенезом геоэкологические процессы, зачастую весьма негативного характера и отрицательно сказывающиеся на строительных объектах. Техногенно загрязненные территории с изменениями в принципах городского строительства, а именно, уплотнения застройки, повышения этажности, освоения подземного пространства, все больше становятся предметом инженерно-геологических изысканий. К настоящему времени пока не создано специальных методологий, хотя СНиП 11.02—96 определяют принципы исследований техногенных грунтов (см. раздел II, гл. 10, 11).

Для строительного освоения техногенно загрязненных территорий необходимо проводить обязательное их *санирование* — комплекс работ по специальному проекту и с применением разработанной оптимальной технологии по восстановлению «нормальных» (природных) свойств грунтов, вод и рекультивации почв и биоты на объекте (территории или акватории) в целях их последующего использования как полноценного компонента территории с последовательным освоением («лечением») всей территории акватории с прилегающими зонами.

В практике изысканий на техногенно загрязненных территориях необходимо комплексирование методов, способов, оборудования и подходов к интеграции из «арсеналов» инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий. Это одна из насущных интенсивно разрабатывающихся проблем инженерной геологии, геоэкологии и экологии.

ОХРАНА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

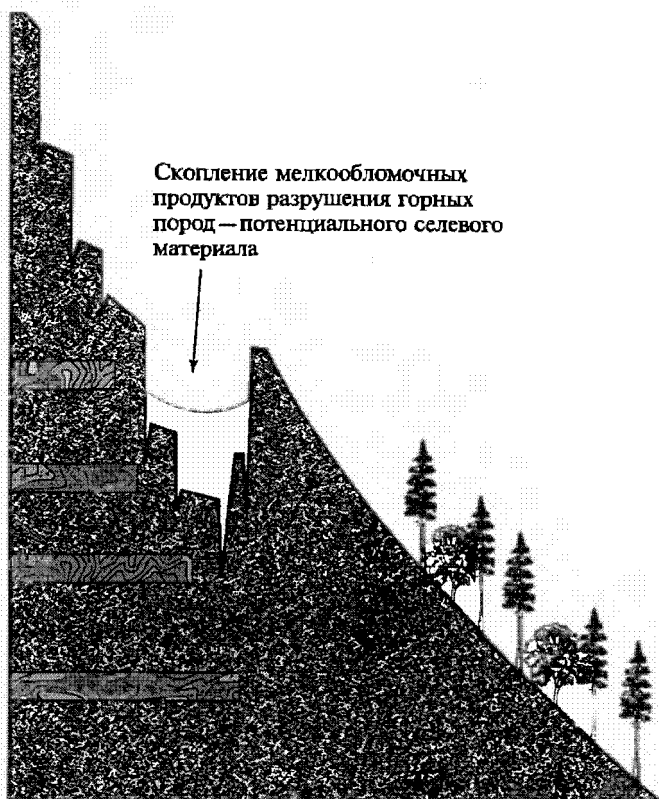
Глава 35

ОХРАНА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ КАК ОБЩЕЧЕЛОВЕЧЕСКАЯ ЗАДАЧА

Последние десятилетия XX в. и начало XXI в. ознаменовались стремительным ростом численности населения Земли (уже сейчас оно значительно превышает 6 млрд человек) и нарастанием его научно-технической вооруженности. Все это вместе взятое создало невиданное до сего времени активное антропогенное воздействие на биосферу, выразившееся прежде всего в том, что масштабы антропогенных и естественных факторов влияния на среду стали сопоставимыми, и в этом сбылось предсказание В.И. Вернадского, что человеческая деятельность превратилась в геологический фактор. Геологические процессы, сформировавшие нашу планету, построившие ее, создавшие геологические структуры, породы, ландшафты и внешний облик, неизмеримо медленнее по своим темпам, чем мощная строительная деятельность последних двухсот лет, когда за считанные годы, месяцы, дни (и даже минуты: взрывом построена, например, плотина селехранилища в Медео) человек создает города, как техногенные горные системы; водохранилища, как техногенные моря и озера; каналы, как техногенные реки; терриконы вскрышной породы, как техногенные холмы; добывает руду, уголь, нефть, поднимая внутренние слои земли на поверхность, как вулканы; сельскохозяйственная деятельность стала соизмеримой по масштабам с денудационными процессами, с выветриванием, с площадной эрозией, но осуществляется она в тысячи раз быстрее, чем в природе на протяжении всей геологической истории (рис. 190—197).

Строительство — один из самых мощных видов производственной деятельности XX в., превратилось в природообразующий, («средодеформирующий») фактор. Изменяемая при строительстве геологическая среда оказывает значительное влияние на протека-

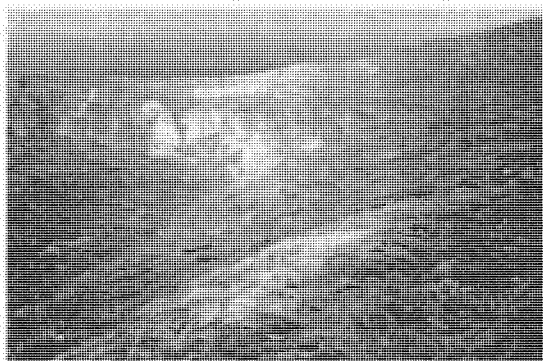
ние процессов в сложившемся круговороте вещества, энергии и информации в биосфере, часто дестабилизируя круговоротные процессы. Кроме того, повсеместное загрязнение окружающей



Р и с. 190. Осадки поверхности земли над штольнями

Р и с. 191. Осадка
поверхности земли над
горными выработками
(г. Кировск, Кольский
полуостров)





Р и с. 192. Техногенно-измененный лавинно-селевой очаг (г. Кировск, Кольский полуостров)



Р и с. 193. Геодезическая просека (приполярный Урал, национальный парк «Югыд ва»)

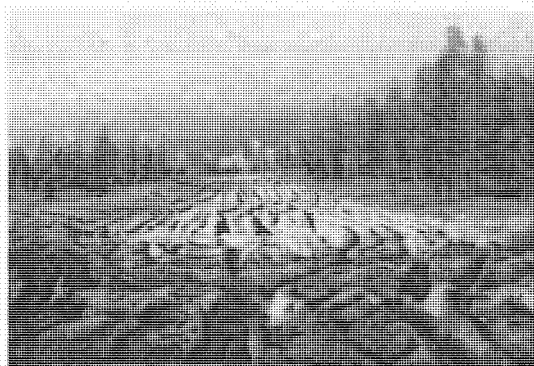


Р и с. 194. Прииск, отработанный более 15 лет назад (приполярный Урал, национальный парк «Югыд ва»)

нас среды разнообразными веществами, порой не имеющими природных аналогов и подчас совершенно чуждыми для нормального существования живых организмов, представляет серьезную опасность для нынешнего и будущего поколений человека на Земле. Налицо наличие глобального экологического кризиса, но перед биосферой дилемма довольно проста в своем решении: биосфера сможет справиться с кризисом через несколько десятков тысяч лет, но без человека и человечества, а это для нас практического смысла не имеет. Выходом из кризиса для человека является сохранение природной среды, адекватной по своим экологическим условиям для сохранения биосферы в целом, и с человечеством, в частности. Для этого необходимо решение ряда проблем, многие из которых не нашли еще даже теоретических решений: одни технологически сложны, другие — экономически невыгодны, а главное, большинство этих проблем человеческим



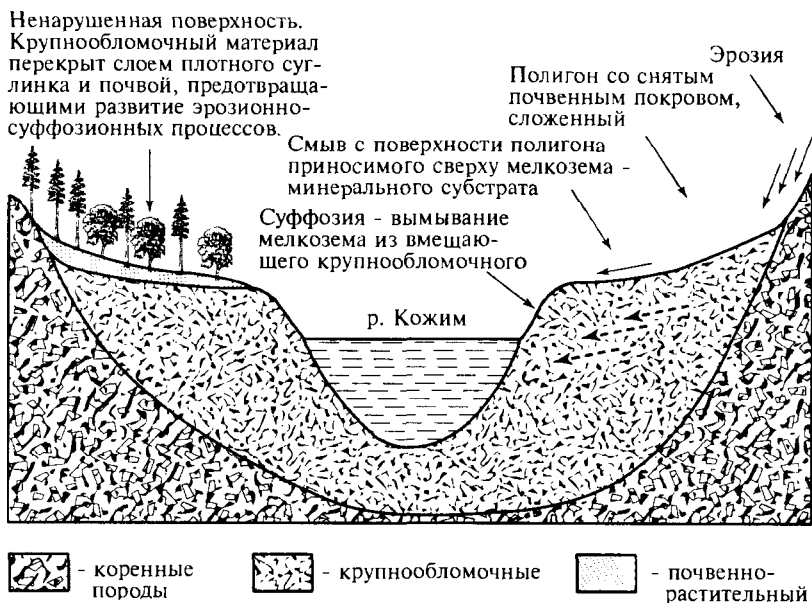
Р и с. 195. Отработанные месторождения золота (национальный парк «Югд ва»)



Р и с. 196. Необустроенная дорога на прииск (национальный парк «Югд ва»)

разумом неосознанны. Тем не менее мировым сообществом выработаны некие модели развития на ближайшую и отдаленную перспективу, одной из которых является «Концепция устойчивого (поддерживающего)* развития», обусловленная согласием, несмотря на серьезные критические возражения подавляющего большинства государств мира в Рио-де-Жанейро в 1992 г. и, к сожалению, практически одобренная, несмотря на ничтожные результаты ее реализации, на глобальном экофоруме в Йоханнесбурге в 2002 г. Другие концепции пока не получили должного теоретического обоснования и слабо проработаны. Однако уже сейчас нужны практические шаги по охране природной среды и, в частности, экологическое строительство, для осуществления которого нужны детальные инженерно-геологические и геоэкологические изыскания.

Современная кризисная экологическая ситуация в своем решении, в том числе и в рамках «поддерживающего» (устойчи-



Р и с. 197. Схематический разрез долины р. Кожим (национальный парк «Югыд ва») Левый борт естественный, правый — нарушен золотодобычей

* Sustainable (англ.) — «поддерживающее» в более точном переводе, чем «устойчивое»; тем более устойчивое развитие возможно только после того, как что-то разрушенное восстановилось, развитие было поддержано, что в общем-то сейчас и требуется для нынешнего состояния биосферы.

вого) развития, требует экологизации многих сфер человеческой деятельности и, в частности, строительства как чрезвычайно мощного фактора воздействия на природную среду. Необходимо учитывать, что строительство будет наращивать свое воздействие в связи с ростом общей численности населения Земли и в связи с нарастающей урбанизацией (уже сейчас без малого 70 % населения живет в городах). Кроме того, проявилась тенденция к созданию мегаполисов и промышленных зон большой площади. Следует иметь в виду, что строительная экспансия не обязательно связана с новым строительством и освоением новых территорий, но все больше будет направлена на реконструкцию имеющихся поселений и промышленных комплексов и с активным освоением подземного пространства. При этом существенно возрастает роль инженера-геолога, а также инженера-строителя, обладающего геологическими знаниями. Это связано с тем, что в условиях реконструкции существующих сооружений им придется использовать уже измененную под их воздействием геологическую среду, а также проектировать и возводить («переделывать») здания в условиях влияния других зданий при имеющейся плотной городской застройке. При этом необходимо учитывать нарастание требований по обеспечению безопасности и надежности сооружений даже при возможно мощных природных и техногенных чрезвычайных ситуациях, так как при росте численности населения Земли все чаще будет необходимо использовать под строительство сложные в геолого-климатическом отношении территории. Кроме того, человек все более «привыкает» к жизни и работе в комфортных условиях, во все большей коммуникационной «атмосфере», что определяет необходимость улучшения качества здания и сооружений, формирующего, в свою очередь, качество жизни человека. И при всем при этом главнейшим требованием на ближайшую перспективу остается снижение техногенного натиска на биосферу, сохранение биоразнообразия, устранение загрязнений и т. д.

С позиций инженерной геологии это повышает требования к результатам ее исследований и в определенной мере экологизирует ее как науку.

Козволюция инженерной геологии и геоэкологии. Рассматриваемая проблема козволюции инженерной геологии и геоэкологии имеет, на наш взгляд, вполне определенное значение, обусловленное новым этапом в развитии геологических и экологических наук.

Обратимся к ставшему классическим определению Е.М. Сергеева, трактующему инженерную геологию как науку о рациональном использовании и охране геологической среды от вредных для человека и природы процессов и явлений. Это определение,

высказанное более 30 лет назад, во многом предопределило экологизацию, наверное, самой «инженерной» из всех геологических дисциплин науки. Данная экологизация, заложенная в «природоохранной» части определения, сыграла роль «установки», как говорят психологи, на все последующее развитие инженерной геологии. При этом не следует забывать о том, что и вся предыдущая история инженерной геологии имела вполне определенные экологические корни. Да, собственно, и возникновение инженерной геологии обусловлено вполне экологическим фактором, а именно — строительством, и точнее требованиями строителей об обеспечении их необходимыми для расчетов фундаментов сведениями о прочности и деформируемости подстилающих грунтов, т. е. характеристиками абиотической составляющей вновь создаваемой антропогенной экосистемы. Так что встречающееся иногда расхожее определение инженерной геологии как геологии на службе у строителей, в общем-то, достаточно точное. А если это так, то строительство, будучи чрезвычайным экологическим фактором, предопределило инженерную геологию как науку экологического цикла. Оценивая предмет инженерной геологии, а именно, геологическую среду, Г.К. Бондарик пишет: «С учетом вопросов и проблем, решаемых инженерной геологией, объектом ее исследований следует считать геологическую среду, ее свойства и также происходящие в ней процессы, которые учитываются при осуществлении настоящей и планируемой деятельности человека». Инженерно-геологические представления в настоящее время являются несколько более широкими, нежели они были 40—50 лет назад. В то время, в силу чрезвычайности активно развивающегося строительства, вызванного, в свою очередь, активизацией научно-технического прогресса, особого значения последствиям, особенно негативного характера, строительной экспансии не уделялось. Главной задачей было — обеспечить строителя-проектировщика, конструктора достоверной информацией, прежде всего, о несущей способности грунтов и о подземных водах, которые могли бы осложнить производство работ. Инженеры-геологи достигли блестящих результатов, они выстроили теоретическую базу, а на ней создали высокопродуктивную систему инженерно-геологических изысканий со всей присущей производству инфраструктурой — от оборудования, приборов до методик, стандартов и подготовленных кадров.

Главными предметами, точнее объектами, которые изучались инструментально, были грунты, их свойства и изменение этих свойств во взаимодействии с сооружением, а затем все более и более инженерно-геологические процессы, иными словами, инженерная геология постепенно переходит от изучения объектов в

статике — статических систем — к изучению динамических геологических систем во взаимодействии со строительными системами. Здесь уместно остановиться на определении понятия «строительная система». Под «строительной системой» мы понимаем здания, сооружения и их комплексы с инфраструктурой инженерных сетей, обеспечивающих их функционирование, а также сосредоточенные в них технологии. В большинстве случаев строительная система служит оболочкой, отделяющей техногенную и природную среду, в которой осуществляется жизнедеятельность. Строительная система — совокупность всех этапов инвестиционно-строительного процесса проекта и его участников, имеющая объектно-правовую направленность и реализуемая в условиях воздействия конкретных факторов внешней среды. Вытекающие из данного определения воздействия на окружающую среду имеют вполне четкую направленность на такую важную ее составляющую, которой является геологическая среда, на ее компоненты. Устойчивость строительной системы, иными словами, ее надежность, и в конечном виде безопасность для человека определяется в итоге качеством взаимодействия системы с геологической средой. Изменяемость геологической среды во многом — это те геологические процессы, которые должны быть учтены при создании строительной системы, с одной стороны, в значительной мере усложняет эту задачу строителю, а с другой — «провоцирует» дальнейшее свое развитие уже под воздействием созданной строительной системы. Налицо возникает новая общность: «динамическая геологическая система — строительная система».

Такая общность в некоторой степени на уровне инженерных задач описывается понятием «природно-техногенная система» (ПТС), которая рядом специалистов рассматривается как некая экосистема. В пользу отнесения к экосистемам, в первую очередь, говорит наличие в ней таких биотических факторов и как человек, и как обитающие в природной составляющей ПТС представители флоры, фауны, микроорганизмов. Вновь созданные такого рода антропогенные экосистемы для обеспечения гомеостаза требуют нарастающего управляющего действия человека. Это нарастание всегда чревато за счет глубокого проникновения постепенным угнетением природных компонент среды. Так что для сохранения природной составляющей, для оптимизации гомеостаза экосистемы следует снизить антропогенный натиск. Одним из снижающих натиск факторов является оптимальное проектное решение и реализация «строительной системы». Опыт строительства показывает, что экологично-оптимальное решение во многом связано с грамотным использованием особенностей геологической среды, их

динамикой, в том числе и при взаимодействии со строительной системой на всем периоде ее эксплуатации.

Функционирование ПТС как модификации общности «динамическая геологическая экосистема — строительная система», как открытой экологической экосистемы на данном этапе невозможно в силу высказанных выше соображений об управляющей роли человека в ее гомеостазе. Однако акад. В.И. Осипов считает, что изучение направленности процессов энергообмена в ПТС позволяет оптимизировать управляющие факторы ее гомеостаза, а это путь к повышению открытости, приближения к функционированию природных экосистем, к экологизации строительства.

Рассмотренные экологические аспекты взаимодействия строительства и геологической среды приводят к заключению о необходимости комплексного рассмотрения системы «сооружение — окружающая среда», и это в значительной мере предопределило формулирование экологической проблематики в геологии. Е.А. Козловский в 1989 г. назвал это новое научное направление геоэкологией. Функциональной единицей является «геоэкологическая система», включающая в себя: растительность, живые организмы (в том числе человека), геологическую среду и техногенно-хозяйственные объекты. Основной задачей геоэкологии является изучение и оценка изменений геологической среды в результате хозяйственной деятельности, в случае ее техногенного загрязнения, в неразрывной связи с загрязнением других компонентов природной среды. Данное определение очень близко по своему смыслу к рассмотренному выше представлению о современном этапе развития инженерной геологии. Кстати, в разработках К.И. Сычева говорится о том, что предметом геоэкологии являются знания не только о состоянии геологической среды и всех ее компонентов в отдельности, но и происходящих в них процессах. В данном случае имеется высокая близость между «геоэкологическими» и «природно-техническими» системами.

В.Т. Трофимов в своих последних работах рассмотрел историю развития проблем эволюции в геологических науках и обоснованно пришел к выводу о формировании нового этапа в предмете инженерной геологии, а именно, переход к исследованиям эволюции инженерно-геологических условий Земли в современную эпоху. Обобщенная характеристика современного этапа, как известно, определяется понятием техногенеза. Техногенез обычно и в первую очередь отождествляется с горно-рудной промышленностью, в значительной мере со строительством и отчасти с сельским хозяйством. При этом активно используются данные, например, Г.И. Хазанова, А.П. Лисицына, С.А. Федотова по сопоставлению объемов формирования извлекаемых полезных ис-

копаемых и вмещающих пород в сравнении с объемами формирования вулканогенных пород (60 и 16 км³ соответственно), а также сравнение объема твердого стока рек Земли (~13 км³) и объемов ежегодно формирующихся техногенных грунтов (~43 км³). Эти данные впечатляющи, но они только в оценках последних 2—3 столетий, когда в полной мере реализуется техногенез. Данные отнесены к одному году, но даже если их распространить на 200—300 лет, то в целом они, конечно, превышают и объемы, и, главное, темпы формирования естественных грунтов. Но эти сроки ничтожно малы в геологическом времени, и экстраполировать их дальнейшее нарастание вряд ли имеет смысл, так как человек уже осознал пагубность такого своего воздействия на геологическую среду и уже пытается темпы «технического» природообразования во всяком случае замедлить. Тем не менее, если к указанным выше объемам техногенных грунтов присовокупить измененные строительством, перемещенные и сельскохозяйственно использованные грунты, то в объемном выражении деятельность человека заведомо оправдывает высказанную В. И. Вернадским мысль о соизмеримости ее с главнейшими геологическими процессами, пусть даже протекающими на кратчайшем отрезке геологического времени (кстати сказать, человек и живет в этом отрезке).

Рассмотрение техногенеза исключительно как порообразующего фактора, а строительства как части техногенеза в виде орогенеза и (или) денудации может в определенной мере быть соотнесено с эволюцией инженерно-геологических условий. Здесь уместно напомнить, что кроме всего прочего идут активные процессы внедрения продуктов человеческой деятельности в виде вульгарных загрязнений и более «мягким» путем во все геосферы. На наш взгляд, в настоящее время эволюция инженерно-геологических условий теснейшим образом связана с воздействиями изменяющихся атмосферы, гидросферы и биосферы; последняя развивается в рамках главных жизнеобеспечивающих геосфер (литосферы, гидросферы, атмосферы) с активным воздействием технической деятельности человечества.

Взаимодействие всех геосфер в условиях техногенеза настолько тесное, что вполне уместно говорить о их «соразвитии» или «коэволюции». Создаваемая природно-техногенная система пока не развивается коэволюционно с природными геосферами — главными жизнеобеспечивающими геосферными оболочками, и в этом причина экологического кризиса. Изучение коэволюционных изменений в природной среде под воздействием человека и измененных природных условий (как коакций) на человека, в общем, и есть задача геоэкологии. В то же время носитель всех гео-

сфер — геологические объекты, и человек базируется на геологической среде в виде природно-техногенных (и строительных) систем исключительно через инженерно-геологические взаимодействия.

В. И. Осипов считает, что объектом геоэкологии являются все геосферные оболочки Земли, что, на наш взгляд, является правоммерным, так как при рассмотрении «строительной системы» необходимо учитывать ее взаимодействие не только с геологической средой. В.И. Осипов, рассматривая предмет геоэкологии, по существу расширяет определение Е.М. Сергеева об инженерной геологии, переводя взаимодействия человека только с геологической средой к взаимодействию со всеми геосферами, их рациональному использованию и защите человека от нежелательных процессов и явлений. Если вслед за В.Т. Трофимовым рассмотреть работы других специалистов, например, В.Н. Островского и Л.А. Островского, но взглянуть на них с позиций нашего представления, окажется, что и в этих работах геоэкология представляется как междисциплинарная наука, рассматривающая человека как фактор развития и в то же время объект защиты его от различных геосферных процессов. В таком контексте инженерная геология может быть представлена как наука, изучающая взаимодействия «строительных систем» с развивающейся геологической средой.

Все изложенное говорит о наличии коэволюционного развития новой геоэкологической науки и инженерной геологии в ее современном понимании.

Глобальная проблема охраны природной среды затрагивает как все человечество в целом, так и все страны и народы, и может быть решена лишь коллективным разумом и при объединении усилий всех людей на Земле. Это связано с тем, что природные ресурсы планеты (атмосфера, гидросфера, флора, фауна) не могут быть разделены государственными границами; этих границ не признают и многие загрязнения. Каждое государство, охраняя среду в своих границах, решает тем самым и глобальные проблемы. В частности, 1 апреля 1996 г. был издан Указ Президента России № 440 «О концепции устойчивого развития Российской Федерации», а также Постановлением Правительства РФ была утверждена программа по реализации в России Концепции устойчивого развития. На сегодня территория нашей страны достаточно хорошо изучена, определены районы острых экологических ситуаций, зоны истощения ресурсов и зоны, которые потенциально могут выступить компенсаторами экологических нарушений. Все это позволяет приступить к целенаправленному сосредоточению средств и усилий на природоохранных мероприятиях, на экологизации человеческой деятельности, на восстановлении нарушенных экоси-

стем на всех тех направлениях, которые были приняты на Глобальном экофоруме в Рио-де-Жанейро в 1992 г. и закреплены в его заключительных документах — в «Повестке дня на XXI век», и на дальнейшее развитие, несмотря на проблемность принятых решений в Иоханнесбурге в 2002 г.

Глава 36

УПРАВЛЕНИЕ ОХРАНОЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ, МОНИТОРИНГ И РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ

В строительном деле важнейшей задачей является прогноз возможных нарушений природной среды и выработка рекомендаций по их устранению, т. е., иначе говоря, для этого нужна система управления природными процессами, которые будут сопровождать строительство.

Важнейшим управляющим инструментом является нормативно-правовой механизм, регламентирующий в данном случае геоэкологические аспекты производственной, в том числе строительной, деятельности. Следует отметить, что инженерные изыскания и инженерно-геологические, в частности, относятся к виду строительной деятельности и подлежат обязательному лицензированию. В последнее входят как составной элемент — обязательное выполнение требований по охране и рекультивации среды при выполнении этих работ (рис. 198).

В России действует единая система государственных стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. В систему стандартов входит ряд документов (в форме ГОСТов): на охрану водных объектов, флоры, фауны, атмосферы, а также на защиту почвы от загрязнения и эрозии, рацио-



Рис. 198. Отработанный карьер, превращенный после рекультивации в зону отдыха

нальное использование поверхности и недр земной коры. Система стандартов является эффективным средством государственно-правового регулирования и управления всеми мероприятиями в области охраны природной среды.

Кроме государственных имеются стандарты отдельных отраслей народного хозяйства, которые детализируют государственные стандарты применительно к местным условиям, учитывают особенности земной коры каждого региона и характер своей хозяйственной деятельности в данном регионе и при данной деятельности.

Естественно, что только нормативными актами и контролем за их исполнением проблемы не решить. К сожалению, на данный момент самый эффективный из механизмов управления — экономический, в виде достижения прибыли, «выгодности» экологической деятельности в строительстве в полной мере у нас в стране, да и за рубежом пока работает недостаточно. Это является, в частности, результатом пока почти полного отсутствия экологического образования и воспитания.

Основы мониторинга. В последние годы деятельность человека по охране природной среды резко активизировалась. В связи с этим появился мониторинг, как новая отрасль науки. *Мониторинг* — это система наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей человека природной среды. Дополнительно к этому в практику вошел другой термин — *литомониторинг*, который применим к земной коре или, иначе говоря, к геологической среде (рис. 199).

Основной целью литомониторинга является выявление нарушений в природной среде и выработка прогноза ее сохранения. Это относится к атмосфере, гидросфере, биосфере и земной коре. Мониторинг работает в интересах человека и выявляет необходимые условия для его нормальной жизни. Система мониторинга ор-

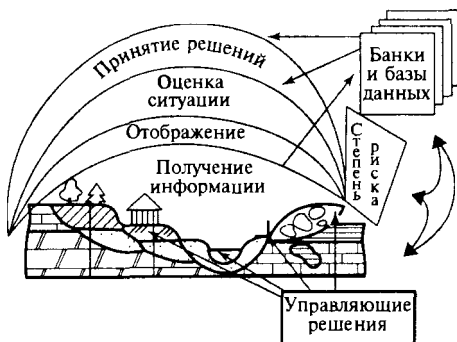


Рис. 199. Функциональная схема инженерно-геологического мониторинга

ганически вписывается в глобальный (мировой), региональные (областные) и местные (районные) уровни. Мониторинг в рамках одного государства называют национальным.

В России в рамках мониторинга организована сеть станций, которые контролируют состояние атмосферы, гидросферы, биосферы и земной коры (особенно почв). Результаты наблюдений этих станций используют органы власти для принятия мер по устранению выявленных экологических нарушений. Станции имеют право контроля за исполнением государственных нормативных актов по сохранению природной среды. К своей работе кроме государственных учреждений станции привлекают общественные организации и население. В городах создаются общественные комитеты по охране природы.

В настоящее время осуществляется программа «Литомониторинг России», куда входят вопросы наблюдения, оценки, контроля и прогноза за состоянием земной коры, которая подвергается нарушениям под влиянием техногенной (строительной) деятельности человека. В этой работе ведущая роль принадлежит инженерной геологии.

Охрана земной коры складывается из трех основных проблем:

- охрана геологической среды;
- охрана почв;
- борьба с инженерно-геологическими процессами.

Геологическая среда включает в себя рельеф и горные породы земной коры. Строительство объектов серьезно нарушает геологическую среду. Поэтому при проектировании объектов следует составлять программу по предотвращению или восстановлению техногенно нарушенной геологической среды. При этом следует помнить, что природа, в свою очередь, постоянно изменяет геологическую среду. В силу естественных причин, связанных с глобальными геологическими процессами, протекающими как в глубинных зонах Земли, так и в ее поверхностной части, стоит только упомянуть такие явления, как землетрясения, вулканизм, речная эрозия и т. д.

Охрана почв. Поверхностный слой земной коры — почвы играют одну из важнейших ролей в протекании жизненных процессов, в формировании первичного природного органического вещества и в разложении остатков живых организмов и отходов жизнедеятельности. Во многом следуя идеям В.И. Вернадского, почвы можно рассматривать как границу между «живым» и «неживым» и как источник получения продуктов питания. Общая площадь почвенного покрова на планете сокращается, за последнее пятидесятилетие на Земле потеряна пахотная площадь размером с полуостров Индостан, многие почвы теряют свое плодородие

дие. Это во многом связано с отрицательным воздействием техногенной деятельности человека. Правовая охрана почв представляет совокупность законодательных мероприятий, направленных на эффективное и рациональное их использование, на всемерное сохранение и защиту от вредных воздействий. Перед строительством почвенный слой должен быть снят и размещен на другой территории, где почва может впоследствии принести человеку необходимую пользу.

Строительство и эксплуатация объектов нередко приводят к образованию инженерно-геологических процессов, которые серьезно нарушают целостность земной коры (оползни, обвалы, провалы земной поверхности над подземными выработками, подтопление водой объектов и т.д.). Охрана земной коры в этих случаях заключается в разработке способов защиты территорий. При этом следует помнить, что выбор способа защиты диктуется местными геологическими условиями и природной обстановкой (рис. 200).

Рекультивация нарушенных земель. Всестороннее восстановление поверхности земной коры, нарушенной в процессе техногенной деятельности человека, называется рекультивацией земель. В настоящее время разработана научная классификация нарушенных земель, дана их характеристика по пригодности для того или ино-



Р и с. 200. Схема геоинформационной системы оценки влияния строительства на геологическую среду

го хозяйственного использования. Это позволяет решать практические задачи рекультивации. Опыт рекультивации показал, что можно вернуть к жизни даже очень сильно нарушенные земли.

Основные задачи рекультивации заключаются в следующем:

- исключение или сведение до минимума неблагоприятных воздействий техногенной деятельности человека, в частности при производстве строительных котлованов, карьеров, отсыпки отвалов и т. д.;

- восстановление экологического равновесия в местах нарушения земной поверхности.

При разработке проектов рекультивации для данного участка учитывают рельеф местности, тип горных пород, характер подземных вод, климат, особенности растительности. В разработке принимают участие инженеры-геологи, экологи, биологи, геодезисты, почвоведы и другие специалисты. В проектах предусматривают сложный комплекс горных, гидротехнических, гидрогеологических, мелиоративных, строительных и сельскохозяйственных работ. Рекультивация бывает в основном двух видов: горно-техническая и биологическая.

Горно-техническая рекультивация. Основная ее задача — приведение нарушенной поверхности земли к условиям до приложенного воздействия. Работа начинается с планировки территории и покрытия слоем почвы (до 15 см). На базе этого создается дерновый слой, который хорошо укрепляет поверхность земли, особенно склоны рельефа. При необходимости грунтовые воды регулируются дренажами. Принимаются меры по предотвращению появления инженерно-геологических процессов, создаются устойчивые откосы, упрочняется поверхность земли от размыва и развевания ветром.

Биологическая рекультивация предусматривает освоение территории под жилую застройку или создание зон отдыха. После планировки поверхность покрывают почвой с последующей посадкой деревьев, кустарников и посевом сельскохозяйственных культур. В местах отработанных карьеров возможно создание водоемов (см. рис. 198).

Опыт работ по рекультивации показал следующее: 1) рекультивацию нарушенной территории по планировке земли необходимо проводить в кратчайшие сроки после завершения или в период строительства объекта; 2) откосы склонов и отвалов земли следует покрывать лесом или засеивать многолетними травами. Для посадки леса поверхность земли необходимо выполаживать до 18—20°, под сады — до 11°, а сельскохозяйственные культуры — до 3—5°.

Задачи строителей по охране природной среды. При производстве работ, как и при эксплуатации объектов, нарушения природной

среды практически неизбежны. Задача строителей сводится к тому, чтобы всегда находить средства и технические возможности для их устранения. Для этого в проекты строительства и на период эксплуатации объектов следует закладывать природосовместимые решения, с помощью которых можно либо не допускать, либо сводить до минимума нарушения природной среды. Природоохранные мероприятия необходимо разрабатывать на основе опыта строительства, прогноза динамики развития и изменения земной поверхности в силу природных и техногенных факторов. О выполнении этих мероприятий в период строительства должно быть указано в акте на сдачу объектов в эксплуатацию.

Строители должны относиться к охране природы, как к важнейшей своей служебной обязанности, быть организаторами и руководителями всех природоохранных работ. При проектировании следует оценивать степень будущего нарушения природы. Возможны случаи, когда от строительства необходимо отказаться. Нежелательно занимать земли, пригодные для сельского хозяйства, для застройки целесообразнее использовать земли непригодные или малопригодные. В период строительства необходимо особое внимание уделять сохранению почв. Вскрышные грунты, которые образуются при вскрытии котлованов, следует вовлекать в сферу строительства (отсыпка насыпей, планировка территорий и т. д.) и не делать отвалов. Не менее важным мероприятием по охране природы при строительстве и эксплуатации объектов является борьба с запылением воздуха, загрязнением водоемов и зеленых массивов, против усиления эрозии, отравления почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное развитие наук о Земле обусловлено неослабевающим интересом человека к «тверди», на которой он появился и живет до нынешних дней. Несмотря на этот неизбывный интерес, полученные многочисленными поколениями ученых сведения о планете Земля значительного обобщающего знания о нашем «общем доме» мы далеко еще не имеем. Собственно и строение планеты, и ее геологическая история базируются, прежде всего, на косвенных данных, позволивших построить более или менее стройные на данный момент гипотезы, как сложилась наша планета и в какие эпохи, и что происходило на континентах и морях, не говоря уже о подстилающих их астеносфере, мантии, что же это за самый сложный механизм, в деятельность которого включены многочисленные живые организмы, формирующие биосферу. В довершение ко всему человек создал социум, проявившийся, в частности, в техногенезе, мощь которого колоссальна.

Развитие геологических наук в настоящее время представляет периодом, когда происходит очередной этап накопления знаний, количество которых неизбежно вызовет результат в виде новых открытий о сущности нашей планеты.

Комплексность подхода геологических наук к предмету изучения предопределяет близость их к наукам биологического цикла, и плодотворность этой коэволюции несомненна в будущих научных результатах.

Конкретность отдельных видов воздействий при техногенезе и его глобальность в целом приводят к необходимости более тщательного изучения отдельных «элементов» земной коры и подстилающих зон, а также к глубокому исследованию изменений в существующих и вновь создаваемых связях между минералами, горными породами, геологическими телами и т. д.

Немаловажная роль строительства в общем техногенезе диктует развитие инженерной геологии и выдвигает на ближайшее время задачи развития геоэкологии как науки о главных жизнеобеспечивающих геосферных оболочках.

Авторы считают, что наступает момент бифуркации в инженерной геологии, когда необходимо разделение методологии, исключительно относящейся к собственно инженерной геологии, например грунтоведение, и методологии геоэкологии, куда следует отнести инженерную геодинамику и отчасти региональную инженерную геологию в тех их аспектах, что связаны с техногенезом и воздействием на биосферу.

Это задача ближайших исследований, к которым авторы приглашают всех заинтересованных специалистов.

А

АБРАЗИЯ [лат. *abrasio* — соскабливание] — разрушение волнами, прибоем и течениями берегов морей, озер и крупных водохранилищ. В результате А. могут образовываться террасы абразионные.

АГЛОМЕРАТ [лат. *agglomera* — накопляю, присоединяю, собираю] — рыхлые скопления обычно неокатанного крупнообломочного материала осадочного или вулканического происхождения. При цементации А. образуются брекчии, туфы и другие горные породы.

АГРЕССИВНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД [лат. *aggressio* — нападение] — разрушающее действие подземных вод на строительные конструкции, материалы и т. п. Характер и интенсивность разрушения зависят от материалов конструкции, химического и газового состава воды, скорости ее течения. Например, по отношению к бетону различают углекислотную (наличие агрессивной углекислоты), выщелачивающую (низкое содержание гидрокарбонат иона), сульфатную (повышенное содержание сульфат-иона), общекислотную (низкое значение водородного показателя) и магниезальную (повышенное содержание ионов магния) агрессивности.

АДСОРБЦИЯ [лат. *adsorptio* — поглощение] — привлечение, задержание или поглощение растворенных веществ, газов или паров поверхностью жидкости или твердого вещества. А. зависит от свойств адсорбирующего вещества (адсорбента). С повышением температуры А. уменьшается. В качестве адсорбентов служат вещества с развитой (пористой) поверхностью, например активированный уголь. А. используется для разделения газов и жидкостей и при их очистке, а также при осушении газов. Применяется в химической, полиграфической, строительной и других отраслях производства. А. играет важную роль в процессе жизни организмов (деятельность ферментов, поглощение веществ клеткой) и в почвах.

АЗОНАЛЬНЫЕ ВОДЫ [гр. *a* — отрицательная частица, *zone* — пояс, зона] — подземные воды, не связанные с горизонтальной (климатической) и вертикальной (гидродинамической) зональностью. См. *Зональность грунтовых вод*.

АЙСБЕРГ [англ. *iceberg*] — отколовшиеся от ледника массивы различной формы, могут быть на плаву или сидеть на мели. Высота над поверхностью воды 70—100 м; большая часть А. находится под водой.

АКВАТОРИЯ [лат. *aqua* — вода + *torium* — поверхность] — участок водной поверхности естественного или искусственного водоема или водотока в установленных границах, например А. озера.

АККУМУЛЯЦИЯ [лат. *accumulatio* — накопление, собрание] — накопление на поверхности суши, на дне водного бассейна или реки минеральных веществ или органических остатков; в гидрогеологии — накопление подземных вод. См. *Равнина аккумулятивная*.

АЛАСЫ [якутск.] — плоские котловинообразные понижения в областях развития многолетнемерзлых горных пород, покрытые луговой растительностью, иногда с небольшими мелкими озерами, образовавшиеся вследствие просадок после вытаивания погребенного льда.

АЛЛЮВИЙ, АЛЛЮВИАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ [лат. *alluvio* — нанос, намыв] — отложения, сформировавшиеся постоянными водными потоками в речных долинах (речные отложения). Образуется А. из обломочного материала (элювий, пролювий, коллювий), снесенного со склонов в реку, и продуктов боковой и донной эрозии, частично или полностью скатанных и отсортированных в процессе транспортировки.

АММОНИТЫ [по имени древнеегипетского бога Амона (гр. *Ammon*), изображавшегося в виде барана с закрученными рогами; напоминают спиралеобразные раковины моллюсков] — ископаемые морские головоногие моллюски, жившие с девонского по меловой период. Раковины А. чаще всего встречаются в отложениях юры — мела.

АНИЗОТРОПИЯ [гр. *anisos* — неравный + *tropis* — свойство] — неодинаковость свойств (или свойства) вещества (тела), в том числе горных пород и грунтов, по различным направлениям внутри этого тела.

АНОМАЛИЯ [гр. *anomalía* — отклонение от нормы, от общей закономерности] — в геологии рассматриваются различные виды А., например, известна Курская магнитная А. — значительное скопление железных руд в земной коре, приводящее к искажениям в магнитном и гравитационном полях на данном участке.

АНТИКЛИНАЛЬ, АНТИКЛИНАЛЬНАЯ СКЛАДКА [гр. *anti* — против + *klino* — гну, выгибаю] — выпуклый изгиб последовательно напластованных слоев, при котором внутренняя часть складки (ядро) сложена более древними горными породами. По очертаниям в плане выделяются: линейная А., если длина ее значительно превышает ширину; брахиантиклиналь, если длина несколько больше ширины; купол, если длина и ширина примерно одинаковы. См. *Складка*.

АНТИКЛИНОРИЙ [антиклиналь + гр. *oros* — гора] — крупная (протяженностью сотни, шириной десятки километров) и сложно построенная структура земной коры в целом антиклинального строения. Например, А. Главного Кавказского хребта.

АНТРОПОГЕН, АНТРОПОГЕНОВЫЙ ПЕРИОД [гр. *antropos* — человек + ...генез, в этот период появился человек] — название четвертичного периода с включением части верхнего плиоцена. Длительность А. оценивается от 600 тыс. до 3,5 млн лет.

АРИДНАЯ ОБЛАСТЬ [лат. *aridus* — сухой] — территория с сухим (аридным) климатом, где испарение преобладает над осадками.

АРТЕЗИАНСКИЕ ВОДЫ [по названию провинции Артуа (лат. *Artesium*) во Франции, где в XII в. был сооружен первый в Европе артезианский колодец; в Китае и Египте подобные колодцы были известны в глубокой древности]. См. *Межпластовые воды*, *Напорные воды*.

АРТЕЗИАНСКИЙ БАССЕЙН — месторождение подземных напорных вод, приуроченное к отрицательной геологической структуре (синклиналь, синеклиза, прогиб). См. *Бассейн*.

АРТЕЗИАНСКИЙ КОЛОДЕЦ (СКВАЖИНА) — колодец, вскрывший напорные (артезианские) воды.

АРХЕЙ [гр. *archaios* — древний] — сокращенное название архейской группы и эры, самых древних в геологической истории Земли. См. *Геохронологическая шкала*.

АСЕКВЕНТНЫЙ ОПОЛЗЕНЬ (лат. *asequens* — не следующий, в данном случае не следующий какой-либо заранее обусловленной поверхности) — оползень в однородных неслоистых горных породах, смещение которых происходит по кривой поверхности, близкой к круглоцилиндрической, так называемой динамической поверхности сползания.

АССИМИЛЯЦИЯ [лат. *assimilatio* — слияние, усвоение] — в геологии процесс взаимодействия горных пород с внедряющейся в литосферу магмой, в результате чего магма растворяет вещество вмещающих пород и изменяет свой состав.

АСТЕНОСФЕРА [гр. *asthenes* — слабый + *sphaira* — шар] — слой пониженной твердости, прочности и вязкости в верхней мантии Земли, подстилающий литосферу.

АТМОСФЕРА (Земная) [гр. *atmos* — пар + *sphaira* — шар] — 1) газовая (воздушная) среда вокруг Земли, вращающаяся вместе с ней, массой около $5,15 \cdot 10^{15}$ т. А. обычно делится на тропосферу, стратосферу и ионосферу (мезосфера и термосфера). Основные компоненты А.: азот — 78,1 %; кислород — 21,3 %, инертные и другие газы, водяной пар — около 1 %. Остальные газы и аэрозоли рассматриваются как примеси или как загрязнители А.; 2) экологический компонент и фактор — воздух в почвах, над ними и под ними (в подстилающих породах) в пределах данного района (экорайона), в границах которого наблюдается взаимное влияние на все экологические компоненты (влияет и сам воздух). Часть А. над определенным участком Земли называется воздушным бассейном.

АТОЛЛ [англ. *atoll* от мальдивск. *atolu* — замкнутый] — коралловый остров кольцеобразной формы, внутри заключающий мелководную лагуну (обычно соединяющуюся узким каналом с морем).

АФАНИТОВАЯ СТРУКТУРА [гр. *aphanio* — делаюсь невидимым, глухим, исчезаю] — макроскопическая однородная структура плотных излившихся магматических горных пород, состоящих из вулканического стекла и мелких кристаллов, неразличимых без микроскопа.

АФИРОВАЯ СТРУКТУРА — мелкокристаллическая структура магматических излившихся горных пород, не содержащих вкрапленников.

АФТЕРШОКИ — повторные подземные толчки (обычно более слабые, чем основной), происходящие из одной очаговой зоны вскоре после основного землетрясения.

АЭРОСНИМКИ (аэрофотоснимки) — результаты съемки местности с летательных аппаратов, движущихся в атмосфере Земли, с использованием съемочных устройств (приемников информации, в том числе и

фотоаппаратов), работающих в различных участках спектра электромагнитных волн. Применяются при составлении и дополнении карт и планов, для установления геологических и геоморфологических особенностей местности и анализа техногенного воздействия на природную среду.

Б

БАЗИС ДЕНУДАЦИИ [гр. *basis* — основание, база; *denudatio* — обнажение] — уровень, соответствующий перелому профиля склона, ниже которого процессы удаления продуктов выветривания горных пород с возвышенностей сменяются процессами их накопления.

БАЗИС ЭРОЗИИ [гр. *basis* — основание, база; лат. *erosio* — размывание, разъединение] — 1) уровень бассейна, в который впадает водный поток; 2) поверхность, ниже которой водный поток (река, ручей, овражные воды) не может углубить свое русло. Различают общий или главный, местный или временный Б. э. Для рек и оврагов общий Б. э. — уровень океана, моря или озера, куда они впадают. Притоки имеют своим местным Б. э. самый низкий уровень воды главной реки в месте впадения притока. Место резкого изменения уклона дна водотока, определяющее эрозию на участке, расположенном выше, также является местным (временным) Б. э.

БАЛАНС ГРУНТОВЫХ ВОД [фр. *balance* — буквально весы от лат. *bilanx* — имеющий две весовые чаши] — количественное выражение кругооборота грунтовых вод определенного района в виде балансового уравнения, состоящего из приходной (атмосферные осадки, инфильтрация из поверхностных водоемов, конденсация водяных паров, подземный приток и др.) и расходной (поверхностный сток, испарение, подземный отток, транспирация и др.) частей, содержащих в совокупности все элементы Б. г. в., которые выражаются в сантиметрах. Если приходная и расходная части уравнения не равны, то происходит изменение уровня грунтовых вод.

БАЛАНСОВЫЙ УЧАСТОК (ПЛОЩАДКА) — часть территории, обогриваемая специальными приборами для определения элементов баланса грунтовых вод.

БАЛКА — сухая или с временным водотоком долина. Дно пологовогнутое, без ясно выраженного русла, склоны выпуклые, плавно переходящие в водораздельное пространство. Дно и склоны задернованы или покрыты кустарником. Б. обычно развивается из оврага, но может возникать и без овражной стадии. Длина от сотен метров до 30 км, глубина от 1 до десятков метров. Син. — суходол, падь. См. *Овраг*.

БАЛЛ [фр. *balla* — мяч, шар] — условная единица для оценки степени или интенсивности какого-нибудь явления (ветра, землетрясения, волнения моря и др.). См. *Сейсмическая шкала*.

БАР — гряда в прибрежной полосе морского дна, образованная наносами (песком, ракушкой и др.).

«БАРАНЬИ ЛБЫ» — скалистые выступы коренных горных пород, сглаженные и отполированные ледником.

БАРХАНЫ [тюрк.] — холмы сыпучего песка, навеванные ветром и не закрепленные растительностью; подвижная форма рельефа пустынь и полупустынь. Б. имеют полудунные или серповидные очертания в плане с длинным пологим (5—14°) наветренным склоном и коротким крутым (30—33°) склоном, переходящим в вытянутые по ветру «рога». Б. достигают высоты 10—20 м, а отдельные — более 200 м. Например, Б. Сарыкум в Дагестане — 252 м.

БАССЕЙН [фр. *bassin*] — 1) часть территории Земли, откуда происходит поверхностный и подземный стоки в реку, речную систему, озеро или море. Например, Б. р. Волги; 2) замкнутая область залегания определенных горных пород, подземных вод или полезных ископаемых. Например, Донецкий угольный Б., Б. грунтовых вод, Северо-Дагестанский артезианский Б.

БАТОЛИТ [гр. *bathos* — глубина + *lithos* — камень] — форма залегания магматических горных пород, образовавшихся в виде очень крупного массива на больших глубинах в ядре антиклинория среди осадочных толщ. Обнажается Б. при денудации верхней части складки.

БЕРЕГОВОЙ ВАЛ — простейшая аккумулятивная форма рельефа, образованная действием прибойного потока. Имеет вид низкой гряды (1—4 м), вытянутой вдоль линии берега.

БЕРЕГОВОЙ УСТУП — вертикальный или очень крутой обрыв морского берега.

БИОГЕННЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ — сложенные главным образом остатками организмов (животных и растений): многие известняки, кремнистые породы, угли. Син. — биолиты, органогенные горные породы.

БИОГЕОЦЕНОЗ — относительно пространственно ограниченная, внутренне однородная природная система взаимно связанных живых организмов (растений, животных, микроорганизмов) с окружающей их неживой средой на определенной территории.

БИОЛИТЫ — см. *Биогенные породы*.

БИОЛОГИЯ [гр. *bios* — жизнь + *logos* — учение] — наука о жизни. Б. изучает огромное многообразие живых организмов, их устройство, функции, эволюцию, развитие и взаимодействие с окружающей средой. В настоящее время выделено много направлений в Б: ботаника, зоология, анатомия, физиология, эмбриология, генетика, микробиология и др. Экология является в какой-то степени видом биологической науки, который рассматривает живые системы и их взаимоотношения с окружающей средой.

БИОСФЕРА [гр. *bios* — жизнь + *sphaira* — шар] — область распространения жизни на Земле; сложная оболочка Земли, населенная организмами, составляющими в совокупности живое вещество планеты. Охватывает прилегающую к поверхности Земли часть атмосферы, значительную часть гидросферы и верхнюю часть литосферы, взаимосвязанные сложными биохимическими циклами миграции веществ и энергии. Акад. В.И. Вернадский в понятие Б. включают также структу-

ры Земли, генетически связанные с живым веществом, прошлой или современной деятельностью живых организмов.

БИОТА [гр. *bios* — жизнь] — 1) исторически сформированный комплекс живых организмов, обитающих на данной значительной территории или в акватории; 2) биологическая (живая или неживая) составляющая грунтов.

БИОТИП [гр. *bios* — жизнь + *typos* — вид] — 1) совокупность живых индивидов со сходными наследственными признаками; 2) группа видов, применяющих сходные приспособления для использования определенных условий обитания.

БИОТОП [гр. *bios* — жизнь + *topos* — место] — определенная территория (акватория) с более или менее сходными природными условиями, которая заселена определенным (обособленным) комплексом живых организмов (растений, животных, микроорганизмов).

БИОЦЕНОЗ [гр. *bios* — жизнь + *koinos* — общность] — биологическое сообщество.

БЛОК [англ. *block* — глыба, брус] — в тектонике объемное понятие, обособленный участок земной коры, стабильный или движущийся всей массой, ограниченный разрывами или трещинами, часто отличающийся от смежных участков по направлению или скорости вертикального движения.

БЛОК-ДИАГРАММА — схематический рисунок (в перспективе) рельефа участка земной поверхности совместно с геологическим строением этого участка. На передней и боковой плоскостях Б.-д. изображается геологическое строение в разрезе, а на верхней стороне — рельеф.

БЛУЖДАЮЩИЕ ТОКИ — электрические токи, протекающие в земле при использовании ее в качестве токопроводящей среды. Вызывают коррозию металлических предметов в земле (оболочек кабелей, трубопроводов, строительных конструкций и др.), приводящую к их разрушению.

БЛЮДЦА СТЕПНЫЕ — мелкие округлые замкнутые плоские впадины, являющиеся результатом различных экзогенных геологических процессов (просадка, суффозия, вытаивание погребенного льда и др.). Размеры Б. с. от 10—15 м в поперечнике при глубине 1—1,5 м до сотен метров при глубине 3—5 м. Распространены в лесостепных, степных и полупустынных областях в районах развития лессовидных грунтов. Син. — западины.

БОКОВАЯ ЭРОЗИЯ — подмывание и размывание рекой (или другим водным потоком) склонов долины, ведущее к ее расширению, образованию излучин (меандр) и миграции русла. См. *Эрозия*.

БОЛОТО — избыточно увлажненный в течение большей части года участок земли, характеризующийся специфической болотной растительностью, накоплением неразложившегося органического вещества с последующим превращением его в торф. Различают собственно Б., где мощность торфа такова, что корни основной массы растений не достигают минерального дна, и заболоченные земли, где корни растений

достигают минерального дна. По условиям питания и характерной растительности Б. подразделяются на верховые, низинные и переходные.

БОЛОТНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ — минеральные и органические осадки, накапливающиеся в болотах и образующиеся из них горные породы. Среди Б. о. преобладают торфы и торфоминеральные горные породы. К Б. о. относят также осадки зарастающих растительностью озер (сапропели и др.).

БОМБЫ ВУЛКАНИЧЕСКИЕ [фр. *bombe*, лат. *bombus*, гр. *bombos* — шум, гул] — выброшенные во время извержения вулкана куски лавы или магмы размером от нескольких сантиметров до 5—7 м в поперечнике, принявшие во время полета округлую или веретенообразную форму.

БРАХИАНТИКЛИНАЛЬ [гр. *brachis* — короткий + *антиклиналь*] — короткая антиклинальная складка, имеющая в плане овальную форму. Падение пластов в крыльях Б. направлено от замка складки во все стороны, на геологической карте размытая Б. изображается в виде концентрических овалов или эллипсов с более древними горными породами внутри и более молодыми — снаружи. См. *Антиклиналь*, *Брахискладки*.

БРАХИСИНКЛИНАЛЬ — короткая синклинальная складка, обычно овальной формы. Падение пластов на крыльях направлено от краев к замку. На геологической карте Б. изображается в виде концентрических овалов или эллипсов с более молодыми горными породами внутри и более древними — снаружи. См. *Синклиналь*, *Брахискладки*.

БРАХИСКЛАДКИ [гр. *brachis* — короткий] — короткие складки, у которых длина превышает ширину не более чем в 2—5 раз. См. *Складка*.

БРОВКА — резкий перегиб склона, отделяющий вышележащую пологую его часть или горизонтальную поверхность (плато, терраса) от более крутого нижележащего участка склона.

БУРЕНИЕ — процесс сооружения горной выработки цилиндрической формы (скважины, шпура, лудки, шахтного ствола) путем разрушения горных пород на забое с последующим их удалением из выработки. В инженерно-геологических целях применяют колонковый, шнековый, ударно-канатный, вибрационный и др. способы Б.

БУРЕНИЕ ВИБРАЦИОННОЕ — способ бурения с применением вибратора, вызывающего колебания бурового инструмента. Б. в. осуществляют до глубин 20—30 м в мягких породах без вращения инструмента, в твердых — с вращением.

БУРЕНИЕ КОЛОНКОВОЕ — бурение, осуществляемое вращением колонковой трубы с буровой коронкой на конце. При Б. к. горная порода разрушается только по кольцу под буровой коронкой, а ее внутренняя часть сохраняется в трубе, периодически заклинивается, отывается от забоя и поднимается на поверхность в виде керна. Частицы разрушенной породы удаляются из забоя промывочным раствором или сжатым воздухом.

БУРЕНИЕ УДАРНО-КАНАТНОЕ — способ бурения, при котором разрушение горных пород на забое осуществляется породоразрушаю-

щим инструментом (массой 0,5—3 т), удерживаемым на канате и падающим с частотой 40—60 ударов в минуту.

БУРЕНИЕ ШНЕКОВОЕ — способ вращательного бурения, при котором выбуриваемая порода транспортируется от забоя к устью скважины с помощью шнека (винтового транспортера). На нижнем конце шнека устанавливается буровой наконечник, вид которого зависит от свойств разбуриваемой породы. Б. ш. применяется для проходки песчано-глинистых пород до глубины 30 м, при этом структура пород, поступивших на поверхность, нарушается. Для взятия монолитов грунта ненарушенной структуры используются грунтоносы, вдавливаемые в забой после подъема шнека.

БУРОВОЙ ЖУРНАЛ — первичный документ, фиксирующий технологию и ход бурения, диаметр и крепление скважин, применяемое оборудование, полевое описание встреченных при бурении горных пород, их мощность и водоносность, уровни подземных вод, данные об отобранных для дальнейших исследований монолитах, кернах, пробах воды и другую информацию.

БУХТА [нем. *bucht*] — небольшая часть моря, залива, озера, обособленная от открытых вод отрезками берега или островами.

БЬЕФ [фр. *bief*] — часть водоема, реки, канала, примыкающая к водоподпорному сооружению (плотина, шлюз). Различают верхний Б., расположенный перед водоподпорным сооружением, и нижний Б., находящийся ниже по течению.

БЫСТРЫЙ СДВИГ — способ испытания грунтов на прочность, при котором скорость проведения испытания выбирается так, чтобы плотность и влажность грунта в процессе сдвига не изменялись. Син. — недренированный сдвиг.

БЮКС — вид лабораторной посуды, обеспечивающий сохранение естественной влажности образца грунта в течение длительного времени с момента его отбора до проведения исследований.

В

ВЕК (геологический) — таксономическая единица геохронологической шкалы: промежуток времени, в течение которого отложилась толща горных пород, образующих ярус. Продолжительность В. в палеозое близка к 10 млн лет, в мезозое и кайнозое по 5—6 млн лет. См. *Геохронологическая шкала*.

ВЕНД, ВЕНДСКИЙ КОМПЛЕКС [по названию древнего славянского племени венды или венеды (лат. *venedi*)] — комплекс самых молодых отложений протерозойской эры, непосредственно предшествующих кембрийскому периоду. Отложения В. образовались в интервале времени от 570 до 680 млн лет назад.

ВЕРХОВОДКА — временное или сезонное скопление подземных вод на сравнительно небольшой глубине в зоне аэрации; имеет ограниченное распространение по площади. В. периодически накапливается на водоупорных линзах или относительно слабоводопроницаемых

слоях при инфильтрации атмосферных осадков или поверхностных вод, а также при утечках из каналов, трубопроводов и других инженерных сооружений; исчезает в связи с испарением или постепенным перетеканием в более глубокие водоносные горизонты.

ВЕТЕР — вызванное различными причинами движение воздуха в земной атмосфере, временного или постоянного направлений.

ВЕЧНАЯ МЕРЗЛОТА — многозначный термин, соответствующий понятию многолетнемерзлые горные породы — близкая к поверхности подземная зона с отрицательной температурой, сохраняющейся в течение веков и тысячелетий; мощность зоны от 1 до сотен метров.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОЗАБОРОВ (скважин, колодцев) — влияние откачки воды из одного водозабора на производительность другого или других водозаборов. Условие взаимодействия: расстояние между смежными водозаборами меньше суммы величин двух радиусов влияния при откачке воды из этих водозаборов. См. *Водозабор*.

ВЗБРОС — одна из форм разрывных тектонических смещений горных пород по разлому (трещине, смесителю), наклоненному к горизонту под углом более 45°. При этом породы, лежащие выше поверхности смещения (висячее крыло), передвигаются вверх относительно пород, лежащих ниже поверхности смещения (лежачее крыло). См. *Разрыв*.

ВЗМОРЬЕ — узкая мелководная прибрежная часть морей и океанов, включающая зону осушки во время отлива.

ВИБРАЦИЯ — быстрые колебательные движения в веществе. Вредно действует на нервную систему животных и человека и ускоряет разрушение машин, зданий и сооружений.

ВИД — в биологии основная структурная и классификационная единица системы живых организмов.

ВЛАГОЕМКОСТЬ — способность горных пород и грунтов поглощать, вмещать и удерживать определенное количество воды, относительное содержание которой зависит от внешних условий и свойств горных пород. Различают максимальную молекулярную и полную при полном заполнении пор водой В.

ВЛАЖНОСТЬ — отношение массы с водой, содержащейся в грунте, к массе сухого грунта.

ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА — количество водяных паров в воздухе, оказывающее существенное влияние на климат.

ВЛАЖНОСТЬ ОБЪЕМНАЯ — отношение объема воды, содержащейся в грунте, к объему всего грунта.

ВОДА ВАДОЗНАЯ — подземная вода атмосферного происхождения. На глубине может нагреваться, обогащаться различными химическими веществами и участвовать в геологических процессах, включая рудообразование.

ВОДА ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОДЗЕМНАЯ [лат. *gravitis* — тяжесть] — капельно-жидкая вода, находящаяся в порах или пустотах горных пород, не подверженная воздействию капиллярных и молеку-

лярных сил, способная перемешаться в грунте под действием силы тяжести или разности напора. Син. — свободная вода.

ВОДА СВЯЗАННАЯ — см. *Классификация воды как жидкой компоненты грунта*.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ [фр. *ressources* — запасы, источники чего-либо] — запасы поверхностных и подземных вод рассматриваемой территории. Важные характеристики В. р.: степень минерализации воды, содержание в воде газов, твердых веществ, скорость течения.

ВОДНЫЙ БАЛАНС — количественное соотношение, связывающее приход и расход всех форм воды в рассматриваемом районе земного шара (атмосферные осадки, подземный приток и отток, испарение, транспирация и др.). См. *Баланс грунтовых вод*.

ВОДНЫЙ КАДАСТР [фр. *cadastre* — лист, реестр] — систематизированный свод сведений о водных ресурсах. Включает гидрологическую и гидрогеологическую изученность, основные характеристики и ресурсы поверхностных и подземных вод.

ВОДНЫЙ КОДЕКС [лат. *codex* — книга] — систематизированный законодательный акт, в Российской Федерации регулирующий отношения по охране и использованию водных объектов.

ВОДОЕМ — водный объект в углублении суши, характеризующийся замедленным движением воды или полным его отсутствием. Различают В. естественный (море, озеро) и искусственный (пруд, водохранилище).

ВОДОЗАБОР ПОДЗЕМНЫХ ВОД — инженерное сооружение, осуществляющее забор воды из водоносного горизонта и отвод ее в водопроводные, оросительные, дренажные и другие системы. Примеры водозаборов: скважины, траншеи, колодцы, из которых производится откачка (отбор) подземных вод, так называемые самоизливающиеся артезианские скважины.

ВОДОНОСНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ — горные породы, содержащие свободную (гравитационную) воду, пропускающие ее сквозь толщу и сравнительно легко отдающие под действием сил гравитации.

ВОДОНОСНЫЙ ГОРИЗОНТ — слой или несколько слоев водопроницаемых горных пород, поры, трещины и другие пустоты которых заполнены подземными водами. Несколько В. г., гидравлически связанных между собой, образуют водоносный комплекс.

ВОДООТДАЧА — способность полностью насыщенными водой горных пород отдавать гравитационную свободную воду. Величина В. характеризуется разностью между полной и максимальной молекулярной влагемкостями.

ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ (грунта, горной породы) — способность грунта (горной породы) пропускать сквозь себя воду (фильтровать, инфильтровать); численно характеризуется коэффициентом фильтрации. В. пласта в целом оценивается коэффициентами водопроводимости (для безнапорных вод) или коэффициентом пьезопроводности (для напорных вод). В. может быть различной в разных направлениях.

ВОДОРАЗДЕЛ — граница между смежными водосборами. Различают поверхностный и подземный В.

ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ (pH) — отрицательный десятичный логарифм концентрации (активности) ионов водорода (в г-ионах на литр). В. п. служит количественной характеристикой кислотности подземных вод: при $pH = 7$ воды нейтральные, при $pH < 7$ — кислые; при $pH > 7$ — щелочные.

ВОДОСБОР (водосборная площадь, водосборный бассейн) — часть земной поверхности и толща горных пород, сток с которых поступает к определенному водному объекту (река, озеро, водоносный горизонт и др.). В. ограничивается водораздельными линиями.

ВОДОТОК — водный объект, характеризующийся движением воды по уклону в углублениях земной поверхности (река, ручей, овраг и др.). Выделяют постоянные и временные В.

ВОДОУПОР (водоупорный слой, водоупорный пласт) — слой горных пород, практически не пропускающий сквозь себя воду (глины, лишённые трещин магматические и мерзлые горные породы и др.). В. ограничивает снизу или снизу и сверху водоносный горизонт.

ВОДОХРАНИЛИЩЕ — искусственный водоем значительной вместимости, образованный обычно в долине реки водоподпорными сооружениями (напр., плотиной) с целью регулирования стока, накопления, хранения и использования воды в хозяйстве.

ВОЗВРАТНЫЕ ВОДЫ — стекающие воды с орошаемых территорий поверхностным или подземным стоком (без учета атмосферных осадков, вод естественных водотоков, грунтовых и межпластовых потоков).

ВОЗВЫШЕННОСТЬ — 1) участок земной поверхности, приподнятый относительно окружающей территории. Условно считают, что максимальные абсолютные отметки В. 200—500 м (например, Валдайская возвышенность); 2) положительная форма рельефа. Термин применим к холмам, грядам, поднятиям неопределенной формы как на суше, так и в море.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕХНОГЕННОЕ — воздействие человека на природу с негативными последствиями в результате использования в хозяйственной деятельности различных видов техники.

ВОЗДУХ АТМОСФЕРНЫЙ — эволюционно сформированная смесь газов (прежде всего азота и кислорода), из которой построена внешняя оболочка Земли. Сухой воздух имеет следующий состав, %: азот — 78,08, кислород — 20,94, аргон — 0,935, диоксид углерода — 0,03, неон — 0,0018, гелий — 0,0005, криптон — 0,0001, ксенон — 0,00009.

ВОЗДУШНАЯ ОБОЛОЧКА ЗЕМЛИ — см. *Атмосфера*.

ВПАДИНЫ — 1) в тектонике понижения земной поверхности (опущенные или прогнутые участки) в пределах суши или дна морей и океанов, большей частью тектонического происхождения; 2) в геоморфологии понижения земной поверхности, замкнутые со всех или почти со всех сторон, округлой или близкой к изометрической формы. Могут быть открытыми, сточными (например, Ладожская В.), закрытыми, бессточными (например, В. Аральского моря) или сухими, несмотря на большие размеры и глубину (например, Туранская В.).

ВРАЩАТЕЛЬНЫЙ СРЕЗ — метод полевого или лабораторного исследования грунтов, заключающийся в повороте крыльчатки (обычно

четырёх лопастей), предварительно задавленной в испытуемый грунт, с одновременным замером углов поворота и соответствующих им крутящих моментов, в том числе в момент среза. По результатам испытаний вычисляют прочностные и деформационные характеристики грунта. В. с. часто используют в комплексе с другими методами исследований (пенетрация, зондирование и др.).

ВРЕЗ — величина, определяющая глубину внедрения речного русла в горные породы в результате эрозионной деятельности реки.

ВСКРЫША — горные породы, покрывающие и имеющие тело полезного ископаемого в массиве и подлежащие удалению (временному или постоянному) при открытой разработке месторождения. Вскрышные горные породы иногда являются сырьем для изготовления строительных материалов и изделий.

ВУЛКАН [лат. *vulcanus* — огонь, пламя; бог огня и покровитель кузнечного дела в древнеримской мифологии — Вулкан] — геологическое образование, возникающее над каналами и трещинами в земной коре, по которым из глубинных магматических источников на земную поверхность извергались или извергаются магма, лава, горячие газы, пары воды, пепел, обломки горных пород. В. обычно представляет собой отдельную возвышенность, сложенную продуктами извержения (конус), в пределах которой имеются жерло — выводной канал, по которому продукты извержения поднимаются к поверхности, и кратер — углубление на поверхности конуса. Различают действующие, уснувшие и потухшие В.

ВЫВАЛ — обрыв и падение отдельных глыб и блоков с крытых и отвесных склонов, сложенных скальными или полускальными горными породами.

ВЫВЕТРИВАНИЕ — совокупность процессов разрушения горных пород, изменения из химического и минерального состава (в условиях земной поверхности или на относительно небольших глубинах) в результате внешних воздействий (разность температур, разность давлений, солнечная радиация, атмосферные осадки, подземные воды, жизнедеятельность живых организмов и др.). Различают физическое (механическое), химическое и биохимическое В. См. *Элювий*.

ВЫЕМКА — отрицательная форма рельефа, образованная в результате деятельности человека.

ВЫКЛИНИВАНИЕ — постепенное относительно быстрое уменьшение мощности слоя (пласта) по простиранию до полного его исчезновения.

ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ — 1) процесс избирательного растворения и выноса подземными водами отдельных компонентов горных пород, в первую очередь хлоридов, сульфатов, карбонатов. См. *Карст*; 2) извлечение какого-либо элемента из материала без нарушения кристаллической решетки; 3) удаление растворимых рудных минералов из какого-либо месторождения.

ВЭЗ — вертикально электрическое зондирование. См. *Электроразведка*.

ГАЗЫ ПРИРОДНЫЕ — газовый компонент литосферы. Г. п. содержатся в растворенном виде в подземных водах и магме, присутствуют в форме газовой-жидких включений в минералах, а также заполняют поры в горных породах. Имеют различное происхождение: радиоактивное, атмосферное, химическое. Основные компоненты Г. п. — углекислый газ, водород, кислород, метан, сероводород, реже аргон, гелий, азот, радон, этан, пропан, бутан.

ГАММА-ПЛОТНОМЕР — прибор для определения плотности горных пород в условиях их естественного залегания путем замера интенсивности рассеянного (вторичного) гамма-излучения, возникающего при искусственном радиоактивном облучении исследуемых пород.

ГАШЮРЫ — условные штриховые обозначения, применяемые для отображения на картах рельефа, литологического состава горных пород и других данных.

ГЕЙЗЕР [исл., *geysir*, от *geysa* — хлынуть] — источник, периодически выбрасывающий фонтаны горячей воды и пара до высоты 20—40 м и более.

...ГЕН, ...ГЕНЕЗ, ...ГЕННЫЙ, [от гр. *genes* — рождающийся, рожденный] — составная часть сложных слов, обозначающая: происходящий от чего-либо, образующий что-либо, связанный с происхождением. Например, ороген, литогенез, эндогенные горные породы.

ГЕНЕЗИС [гр. *genesis* — происхождение] — происхождение, возникновение, условия образования и последующего развития, в том числе минералов, горных пород, геологических процессов и явлений.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ — определяющий происхождение, обусловленный происхождением. Например, Г. классификация горных пород.

ГЕО... [гр. *geo* — земля] — составная часть сложных слов, обозначающих: относящийся к Земле, земному шару, земной коре, наукам о Земле.

ГЕОАНТИКЛИНАЛЬ [*geo...* + *антиклиналь*] — крупное поднятие (длина до сотен, ширина до нескольких десятков километров) земной коры в пределах геосинклинальной системы.

ГЕОКРИОЛОГИЯ [*geo...* + гр. *kryos* — холод, мороз + *...логия*] — мерзлотоведение — наука о мерзлых грунтах и горных породах, их происхождении, закономерностях развития, распространения, составе, свойствах, условиях существования мерзлых толщ в земной коре, процессах и явлениях, происходящих в промерзающих, мерзлых и оттаивающих породах (грунтах).

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА — верхняя часть литосферы, в которой осуществляется значительная часть инженерно-хозяйственной деятельности человека. Г. с. является многокомпонентной динамичной системой и выступает как минеральная основа биосферы, часть окружающей человека среды. Многокомпонентность Г. с. выражается в том, что она включает в себя горные породы, рассматриваемые как грунты, подземные воды, газы, биоту (микроорганизмы и органические вещества). Все компоненты взаимодействуют между собой и вместе с внешними воздействиями определяют динамику системы. Инженерно-хо-

зяйственная деятельность человека в определенной степени зависит от состава и состояния Г. с., приводит к изменению хода природных геологических процессов и возникновению новых инженерно-геологических процессов, изменяющих в свою очередь инженерно-геологические условия определенных территорий.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ТЕЛО — четко ограниченные в пространстве горные породы, имеющие одинаковое происхождение и возраст. При описании любого Г. т. указывают его размеры, форму, ориентировку в пространстве.

ГЕОЛОГИЯ — комплекс наук о составе, строении, истории развития, движении земной коры и размещении в ней полезных ископаемых. Современная геология включает стратиграфию, тектонику, минералогию, петрологию (петрографию), литологию, инженерную геологию, гидрогеологию, сейсмологию, учение о полезных ископаемых и ряд других наук.

ГЕОМОРФОЛОГИЯ [*geo...* + гр. *morphe* — форма + *...логия*] — наука о рельефе суши, дне океанов и морей; изучает внешний облик, происхождение, возраст, историю развития, современную динамику, закономерности группировки и распространения составляющих форм рельефа.

ГЕОСИНКЛИНАЛЬ [*geo...* + *синклиналь*] — длинный (десяtkи и сотни километров), относительно узкий и глубокий прогиб земной коры, возникающий на дне морского бассейна, обычно ограниченный разломами и заполненный мощными толщами осадочных и магматических горных пород.

ГЕОСФЕРЫ [*geo...* + гр. *sphaira* — шар] — концентрические, сплошные или прерывистые оболочки Земли, различные по составу, физическому состоянию и свойствам; в направлении от центра Земли к периферии; выделяются ядро, мантия, литосфера (земная кора), гидросфера, биосфера, атмосфера, магнитосфера.

ГЕОТЕКТОНИКА — см. *Тектоника*.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СТУПЕНЬ [*geo...* + гр. *therme* — теплота, жар] — интервал глубины в земной коре (ниже зоны постоянных температур), на котором температура горных пород повышается на 1 °C; колеблется в зависимости от местоположения и глубины от 5 до 150 м (в пределах, доступных непосредственному измерению).

ГЕОТЕРМИЯ, ГЕОТЕРМИКА (*geo...* + гр. *therme* — теплота, жар] — раздел геофизики, изучающий тепловое состояние, тепловые процессы и тепловую историю Земли.

ГЕОФИЗИКА [*geo...* + гр. *physike* — природа] — наука, изучающая внутреннее строение Земли, физические свойства геосфер, процессы и явления, происходящие в них.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАЗВЕДКИ — получение геологической информации (в инженерной геологии, например, изучение состава, строения и свойств геологической среды, процессов и явлений, происходящих в ней) на основе изучения естественных или искусственно создаваемых на отдельных участках Земли физических полей с

помощью геофизических приборов (сейсморазведка, электроразведка, гравиразведка и др.).

ГЕОХИМИЯ — наука о химическом составе Земли, закономерностях распределения химических элементов в различных геосферах, законах поведения, сочетания и миграции элементов в ходе природных геологических и инженерно-геологических процессов.

ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ШКАЛА (geo... + гр. *chronos* — время + гр. *logos* — учение, лат. *scala* — лестница) — международная шкала, показывающая последовательность, соподчиненность и длительность основных этапов геологической истории Земли. В Г. ш. геологическое время существования литосферы разделяется на эры, периоды, эпохи и века (геохронологические подразделения), а толщи горных пород, образовавшиеся в течение этих геологических промежутков времени, получили соответственно названия группа, система, отдел, ярус (стратиграфические подразделения). Геологические периоды (системы), кроме вендского и рифейского, подразделяются на эпохи (отделы): четвертичный — на четыре, неогеновый, меловой, пермский, девонский и силурийский — на две, остальные — на три. Эпохам даются названия: ранняя, средняя и поздняя — при делении порядка на три эпохи, ранняя и поздняя — при выделении двух эпох. Отделы соответственно именуются: нижний, средний, верхний или нижний и верхний. Самая молодая эпоха (отдел) четвертичного периода (системы) называется современной. Эпохи (отделы) обозначаются арабскими цифрами. Например, K_2 означает, что геологическая порода образовалась в поздне меловую эпоху мелового периода и относится к верхнемеловому отделу меловой системы. Эпохи (отделы) подразделяются на века (ярусы), которые в разных регионах могут иметь различные названия. См. *Геохронология*.

ГЕОХРОНОЛОГИЯ (геологическое летоисчисление) — учение о хронологической последовательности формирования и возрасте горных пород, слагающих земную кору. Различают абсолютный и относительный возраст горных пород. Абсолютный возраст определяется по содержанию в породах продуктов радиоактивного распада различных элементов и выражается в абсолютных (физических) единицах измерения времени (млн или тыс. лет). Относительный возраст устанавливается стратиграфическим, палеонтологическим и другими методами и дает представление о том, какие отложения в земной коре являются более молодыми, а какие более древними (без оценки длительности времени, протекающего с момента их образования). См. *Геохронологическая шкала*.

ГИГРОСКОПИЧЕСКАЯ ВЛАЖНОСТЬ — влажность грунта в воздушно-сухом состоянии, т. е. в состоянии равновесия с влажностью и температурой окружающего воздуха. См. *Классификация воды как жидкой компоненты грунта*.

ГИГРОСКОПИЧНОСТЬ [гр. *hygros* — влажный + гр. *scorpeo* — наблюдаю] — способность вещества, в том числе горных пород и грунтов, поглощать влагу из окружающей среды (обычно пары воды из воздуха).

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ГРАДИЕНТ [гр. *hydraulikos* — водяной, лат. *gradientes* — шагающий, идущий] — мера (скорость) изменения разности напоров подземных вод на единицу длины потока (или его участка). Г. г. численно равен частному от деления разности напоров в двух точках, расположенных по направлению течения, на расстояние между этими точками (длина пути фильтрации).

ГИДРАТАЦИЯ — присоединение воды к различным веществам; взаимодействие воды с химическими соединениями. Например, при Г. ангидрита образуется гипс.

ГИДРО... [гр. *hydor* — вода] — часть сложных слов, означающая отношение к воде, водным пространствам.

ГИДРОГЕОДИНАМИКА [гр. *hydor* — вода + *geo* — Земля + *dinamus* — сила] — раздел гидрогеологии, изучающий вопросы движения подземных вод.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ — совокупность признаков, характеризующих условия залегания, распространение, движение, количество, качество, режим подземных вод, литологический состав и водные свойства водоносных горных пород.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЙОН — часть геологической структуры, характеризующаяся общностью условий формирования подземных вод определенного типа, отличающаяся в этом отношении от смежных участков и имеющая самостоятельный баланс подземных вод.

ГИДРОГЕОЛОГИЯ [*гидро...* + *гео...* + гр. *logos* — учение] — наука о подземной гидросфере: водоносных системах земной коры и происходящих в них процессах. Г. изучает историю подземной гидросферы, ее ресурсы и состав, закономерности пространственного распределения составляющих ее компонентов, происходящие в ней процессы и взаимодействие с окружающими геосферами, а также хозяйственное значение компонентов подземной гидросферы и влияние на них деятельности человека.

ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ [*гидро...* + гр. *grapho* — пишу, гидрография — раздел гидрологии, занимающийся съемкой, описанием и нанесением на карту водных объектов] — совокупность водоемов и водотоков (рек, озер, хранилищ, болот, каналов) какой-либо территории суши. При рассмотрении только системы водотоков применяют термин «речная сеть».

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ [*гидро...* + гр. *dinamus* — сила] — давление, оказываемое движущейся жидкостью (потоком подземных вод) на частицы горных пород.

ГИДРОИЗОГИПСЫ [*гидро...* + гр. *isos* — равный + *hypsos* — высота] — линии на гидрогеологической карте, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными или относительными отметками уровней грунтовых вод. См. *Карты гидрогеологические*.

ГИДРОИЗОПЬЕЗЫ [*гидро...* + гр. *isos* — равный + *piezo* — давлению] — линии на гидрогеологической карте, соединяющие точки с одинаковой величиной напоров подземных вод. См. *Карты гидрогеологические*. Син. — пьезоизогипсы.

ГИДРОИЗОТЕРМЫ [гидро... + гр. *isos* — равный + *therme* — жар, тепло] — линии на карте или разрезе, соединяющие точки с одинаковой температурой воды в данной толще водоносных горных пород.

ГИДРОЛАККОЛИТЫ [гидро... + гр. *lakkos* — яма + ...*lites*] — бугры пучения с ледяным ядром, образующиеся в зоне развития многолетней мерзлоты (криолитозоне) при подтоке воды. Достигают 25—40 м высоты, 200 м ширины и имеют форму купола с крутыми склонами, пологого кургана или валообразного поднятия.

ГИДРОЛОГИЯ [гидро... + гр. *logos* — учение] — наука, изучающая поверхностную гидросферу, ее свойства и протекающие в ней процессы и явления по взаимосвязи с атмосферой, литосферой, биосферой.

ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ [гидро... + гр. *states* — стоящий] — относительно стабильный уровень, на котором устанавливаются подземные воды в скважине или колодце. Син. — статический уровень.

ГИДРОСФЕРА [гидро... + гр. *sphaire* — шар] — водная оболочка Земли. Г. состоит из поверхностной (наземной), подземной и атмосферной частей; она захватывает и пронизывает литосферу, биосферу и значительную часть атмосферы. Между отдельными частями Г. происходит постоянный обмен веществом и энергией (круговорот воды в природе).

ГИЕРОГЛИФЫ (иероглифы) (гр. *hieroglyphoi* — священные знаки) — различного рода и происхождения барельефные знаки на поверхностях пластов горных пород. Знаки, обусловленные жизнедеятельностью организмов, получили название биоглифов.

ГИПЕРГЕНЕЗ [гр. *hyper* — над, сверх + ...*genes*] — совокупность процессов физического и химического преобразования горных пород и минералов в верхних частях земной коры и на ее поверхности под воздействием атмосферы, гидросферы, биосферы (разложение, растворение, гидратация, гидролиз, окисление, карбонатизация и др.).

ГИПОЦЕНТР [гр. *hupo* — под, внизу + лат. *centrum* — центр; находится под эпицентром] — геометрический центр области в теле Земли, называемый очагом землетрясения, где внезапно высвобождается значительное количество энергии, вызывающее короткопериодные колебания земной коры — землетрясения.

ГИПСОМЕТРИЧЕСКАЯ ПОВЕРХНОСТЬ — поверхность безнапорных грунтовых вод в грунтах. Каждая точка Г. п. показывает уровень безнапорных (грунтовых) вод при вскрытии их горной выработкой, скважиной.

ГИПСОМЕТРИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ — след от пересечения гипсометрической поверхности вертикальной плоскостью.

ГЛЕТЧЕР [нем. *Gletscher* от лат. *glacies* — лед] — см. *Ледники*.

ГЛИНИСТЫЕ ЧАСТИЦЫ — частицы размером менее 0,005 мм.

ГЛЯЦИОЛОГИЯ [лат. *glacies* — лед + *logos* — учение] — наука о происхождении, составе, свойствах, развитии и распространении ледников, снежных покровов, подземных льдов, геологической и геоморфологической деятельности всех форм льда.

ГОДОГРАФ [гр. *hodos* — путь + *grapho* — пишу] — кривая или ломаная линия на графике «путь — время» для определения, в частности,

скоростей прохождения сейсмических волн через горные породы при выполнении сейсморазведочных работ.

ГОЛОЦЕН [гр. *holos* — весь + *kainos* — новый, последний] — не закончившийся еще отрезок четвертичного периода. Начало Г. совпадает с окончанием последнего материкового оледенения Северной Европы (около 10 тыс. лет назад). Син. — послеледниковая эпоха.

ГОРИЗОНТ [гр. *horizon* от *horizo* — ограничиваю] — местное стратиграфическое подразделение, включающее разновозрастные породы разного литологического состава, иногда с определенным комплексом фауны (например, Чокракский Г. неогена). Иногда термином Г. обозначается несколько слоев небольшой мощности с характерными литологическими или палеонтологическими признаками (например, Г. с конкрециями).

ГОРИЗОНТ ВОДОНОСНЫЙ — относительно выдержанный и единый в гидравлическом отношении пласт (толща, слой, группа слоев и т. д.) водопроницаемых горных пород, поры, трещины и пустоты которого заполнены водой. Г. в. по литологическому составу и водопроницаемости горных пород может быть одно- или многослойным, относится к одной или разным единицам геохронологической шкалы. По характеру залегания и гидродинамическим признакам различают Г. в. грунтовых и межпластовых вод, безнапорные и напорные.

ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ — искусственно созданные в приповерхностной части литосферы полости, используемые для изучения геологического строения территории, отбора образцов горных пород для последующего изучения, проведения опытных работ, организации наблюдений за режимом подземных вод и экзогенных геологических процессов. Типы Г. в.: закопушка, расчистка, канава, шурф, дудука, штольня.

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ — естественные соединения (ассоциации) и скопления минералов, возникшие в земной коре или на ее поверхности в результате затвердевания природных силикатных расплавов (магма, лава), накопления осадков или преобразования ранее существовавших Г. п. Каждая Г. п. обладает более или менее постоянным минеральным составом, структурой и текстурой. См. *Классификация горных пород*.

ГОРНЫЕ СТРАНЫ — обширные участки земной поверхности, поднятые на несколько тысяч метров над уровнем моря и характеризующиеся резкими колебаниями высот.

ГОРСТ [нем. *Horst* — возвышенность, холм] — приподнятый участок земной коры, ограниченный тектоническими разрывами, по которым произошло значительное опускание смежных участков (сбросы) или подъем центральной части (взбросы). См. *Грaben*.

ГРАБЕН [нем. *Graben* — ров, канава] — участок земной коры, ограниченный тектоническими разрывами и опущенный по ним относительно смежных участков. См. *Горст*.

ГРАВИРАЗВЕДКА [от лат. *gravitas* — тяжесть] — геофизический метод разведки, основанный на изучении аномалий поля силы тяжести

Земли, обусловленных геологическим строением и разной плотностью литосферы и внутренних зон.

ГРАВИТ — см. *Свободная, Гравитационная вода*.

ГРАВИТАЦИОННАЯ ВОДА [лат. *gravit* — тяжелый] — одна из категорий свободной воды в грунтах. Г. в. подразделяется на просачивающуюся воду и воду грунтового потока. Просачивающаяся вода находится преимущественно в зоне аэрации и передвигается под влиянием силы тяжести сверху вниз. Это движение продолжается до тех пор, пока она не встретит на своем пути слой грунта, обладающий малой водопроницаемостью — фактически водонепроницаемый, водоупорный горизонт. После этого движение воды происходит под влиянием напора в воде грунтового потока. Син. — гравит.

ГРАНИЦА ПЛАСТИЧНОСТИ — влажность грунта, при которой он находится на границе твердого и пластичного состояния. Син. — граница раскатывания. См. *Число пластичности*.

ГРАНИЦА РАСКАТЫВАНИЯ — см. *Граница пластичности*.

ГРАНИЦА ТЕКУЧЕСТИ — влажность грунта, при которой он находится на границе пластичного и текучего состояний.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ — содержание в осадочных горных породах или нескальных грунтах фракций частиц различной крупности, выраженное в процентах от массы сухого грунта, взятого для анализа. Границы фракций (групп частиц, близких по размеру) устанавливаются нормативными документами. Син. — зерновой состав, механический состав.

ГРАНУЛОМЕТРИЯ [лат. *granulum* — зернышко + гр. *metreo* — измеряю] — совокупность методов (приемов) определения гранулометрического (зернового) состава осадочных горных пород, грунтов и искусственных рыхлых материалов.

ГРИФОН — в гидрогеологии выход подземной воды из водоносной горной породы сосредоточенной струей, являющейся частью источника и поднимающейся выше поверхности земли или дна водоема.

ГРУНТ [нем. *Grund* — основа, почва] — любая горная порода, почва или антропогенное геологическое образование, рассматриваемые как многокомпонентные (минеральные частицы, флюиды, газы, биота) динамические системы, изучаемые связи с инженерной деятельностью человека.

ГРУНТОВЕДЕНИЕ — научное направление инженерной геологии, занимающееся изучением состава, строения, свойств грунтов, закономерностей их формирования и пространственно-временного изменения в процессе инженерной деятельности человека.

ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ — свободные (гравитационные) воды первого от поверхности Земли постоянно существующего водоносного горизонта, заключенные в порах или трещинах горных пород и залегающего на первом от поверхности выдержанном водоупоре. См. *Классификация подземных вод*.

ГРУНТОНОС — устройство, приспособление (снаряд) для отбора из забоя или стенок скважины (горной выработки) образцов нескальных грунтов ненарушенного сложения (монолитов).

ГРУППА [нем. *Gruppe*] — наиболее крупная таксономическая единица стратиграфической шкалы, объединяющая все горные породы, образовавшиеся в течение одной геологической эры. См. *Геохронологическая шкала*. Син. — эратема.

ГРЯДА — общее название положительных вытянутых форм рельефа различной высоты, размеров и происхождения.

ГРЯЗЕВОЙ ВУЛКАН — геологическое образование, представляющее собой большой холм плоскоконической формы, имеющий на вершине воронкообразный кратер, из которого периодически или непрерывно извергаются грязевые массы (глинистые породы в жидком состоянии) и газы, часто с водой и нефтью.

ГРЯЗЕКАМЕННЫЙ ПОТОК — см. *Сель*.

ГУМИДНАЯ ОБЛАСТЬ [лат. *humidus* — влажный] — область с влажным климатом, где количество атмосферных осадков превышает испарение и инфильтрацию: избыток атмосферных осадков удаляется поверхностным стоком рек и ручьев.

ГУМУС [лат. *humus* — земля, почва] — органическая, обычно темно-окрашенная часть почвы, образующаяся в результате биохимического превращения растительных и животных остатков. Содержание Г. — показатель плодородия почвы. Син. — перегной.

Д

ДАЙКА [англ. *dike, dyke* — преграда, стена из камня] — пластинообразное вертикальное или крутопадающее геологическое тело, ограниченное примерно параллельными стенками и имеющее протяженность по простиранию и падению, большую мощность. Различают эндогенные Д., образованные в результате заполнения трещин магматическим расплавом, и экзогенные Д., образованные при заполнении трещин в горных породах осадочным материалом. Вследствие более быстрой разрушаемости вмещающих Д. осадочных горных пород выступающие над поверхностью Земли Д. часто имеют вид разрушенных каменных стен, с чем и связано их название.

ДАРСИ ЗАКОН [по фамилии фр. ученого А. Дарси, установившего этот закон в 1856 г. на основании многочисленных опытов по изучению фильтрации воды в песчаных грунтах] — зависимость $Q = kIFt$, где Q — количество воды, прошедшее между двумя сечениями потока подземных вод; I — гидравлический градиент; F — площадь поперечного сечения потока подземных вод; t — время фильтрации. Син. — основной закон движения подземных вод; линейный закон фильтрации.

ДЕБИТ [фр. *debit* — сбыт, расход] — объем воды, поступающий из естественного источника или водозабора в единицу времени при откачке или самоизливе. Син. — производительность, расход.

ДЕВОН [по названию графства Девоншир в Великобритании, где впервые были изучены отложения этой системы] — сокращенное название девонской системы и девонского периода. См. *Геохронологическая шкала*.

ДЕГИДРАТАЦИЯ [лат. *dehydratio* — обезвоживание] — процесс расщепления и удаления воды из минералов и горных пород.

ДЕГЛЯЦИАЦИЯ [лат. *deglassis* — отделение льда] — процесс распада, таяния и отмирания ледников.

ДЕЛЬТА [гр. *delta* — название четвертой буквы греческого алфавита, имеющей вид треугольника, по сходству с которой было в древности дано название дельте р. Нил] — низменность в низовьях крупных рек, впадающих в мелководные участки моря или озера, образованная речными отложениями и прорезанная разветвленной сетью рукавов и протоков.

ДЕЛЬТОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ — речные отложения в морях и озерах, устьев рек, формирующие дельту реки.

ДЕЛЮВИЙ [лат. *deluo* — смываю] — сокращенное название делювиальных отложений, образующихся в результате накопления на склонах и у подножий возвышенностей продуктов выветривания горных пород, смытых с вышележащих участков дождевыми или талыми водами.

ДЕЛЯПСИВНЫЙ ОПОЛЗЕНЬ [по А.П. Павлову] — оползень, возникающий в нижней части склона (например, при подмыве) и постепенно распространяющийся вверх вследствие последовательного соскальзывания новых масс горных пород.

ДЕЛЯПСИЙ [лат. *delaptere* — соскальзывать] — сокращенное название деляпсивных отложений, образующихся в результате гравитационного смещения по склонам массивов горных пород (оползни, обвалы).

ДЕНУДАЦИЯ [лат. *denudatio* — обнажение] — совокупность процессов разрушения (выветривания) горных пород и переноса с возвышенностей продуктов выветривания (ветром, водой, льдом, силой гравитации) в пониженные участки рельефа. Д. приводит к постепенному выравниванию рельефа и обнажению на возвышенных участках более древних горных пород.

ДЕПРЕССИОННАЯ ВОРОНКА — объем, ограниченный поверхностью вращения депрессионной кривой и естественной поверхностью безнапорных или пьезометрической поверхностью напорных вод. При откачке воды из безнапорного водоносного горизонта Д. в. — объем осушенного грунта.

ДЕПРЕССИОННАЯ КРИВАЯ — положение уровня безнапорных или пьезометрического уровня напорных вод при откачке или самоизливе воды из водозабора. См. *Уровень грунтовых вод, Пьезометрический уровень*.

ДЕПРЕССИЯ [лат. *depressio* — вдавливание, понижение, углубление] — в геоморфологии — любое понижение земной поверхности; в узком смысле — впадина или котловина, лежащая ниже уровня Мирового океана; в тектонике — область прогибания земной коры, частично или полностью заполненная более молодыми осадочными горными породами.

ДЕТРИТ [лат. *detritus* — истертый] — 1) органогенный мелкий обломочный материал осадочных горных пород, состоящий из обломков раковин, скелетных частей животных, обрывков тканей растений. Д. может являться порообразующим материалом, например детритусо-

вые известняки; 2) мелкие частицы органического или частично минерализованного вещества, взвешенные в толще воды или осевшие на дно водоема. Образуется из отмерших растений, животных, бывших продуктов их жизнедеятельности.

ДЕТРУЗИВНЫЙ ОПОЛЗЕНЬ [по А.П. Павлову] — оползень, развитие которого распространяется по склону (откосу) сверху вниз.

ДЕФЛЯЦИЯ [лат. *deflatio* — выдувание, сдувание] — процессы выдувания частиц из массива горных пород, их развевания, переноса и обкачивания.

ДЕФОРМАЦИЯ [лат. *deformatio* — искажение] — изменение формы, объема, размеров геологического тела на участке земной коры и относительного положения его отдельных элементов в результате действия тектонических сил. Син. — дислокация.

ДЕШИФРИРОВАНИЕ (ДЕШИФРОВАНИЕ) аэро- и космических снимков [фр. *dechiffrer* — расшифровывать, прочесть написанное условными знаками] — метод получения инженерно-геологической информации путем выявления и распознавания на аэро- и космических фотоснимках необходимых данных (рельеф, гидросеть, проявления геологических процессов и т. д.).

ДЕЯТЕЛЬНЫЙ СЛОЙ — верхний слой горных пород, подвергающийся периодическому сезонному протаиванию, промерзанию.

ДИАГЕНЕЗ [гр. *dia*... — пере... + *genesis* — происхождение, образование] — совокупность процессов физико-химического преобразования рыхлых осадков в осадочные горные породы (уплотнение, перекристаллизация, цементация и др.) в верхней зоне земной коры. См. *Литогенез*.

ДИАГРАММА-ТРЕУГОЛЬНИК (диаграмма Фере) — графическое изображение внутри площади равностороннего треугольника состава трехкомпонентной смеси. На каждой стороне треугольника откладывается содержание одного из компонентов. Так как результат одного анализа — точка, то на диаграмме можно отобразить множество анализов, выявить закономерность изменения компонентов. При изображении гранулометрического состава глинистых грунтов на сторонах треугольника откладывается (в процентах) содержание песчаных, пылеватых и глинистых частиц. При отображении химического состава подземных вод строятся диаграммы анионного (HCO_3^{-1} , SO_4^{-2} , Cl^{-1}) и катионного (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1}) составов.

ДИАТОМЕИ [гр. *diatome* — расчленение надвое] — диатомовые водоросли: микроскопические желтоватые водоросли, наружная оболочка которых состоит из двух кремневых половинок (отсюда название). Ископаемые Д. образуют отложения диатомитов.

ДИЗЬЮНКТИВ [лат. *disjunctio* — разобщение] — дизъюнктивная дислокация. Син. — дислокация разрывная, разрыв.

ДИНАМИКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД [гр. *dinamis* — сила] — раздел гидрогеологии, рассматривающий количественные закономерности движения подземных вод при воздействии природных и техногенных факторов, а также их режим и ресурсы. Син. — гидрогеодинамика.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ — раздел геологии, изучающий геологические процессы и явления, протекающие или возникающие в земной коре и на ее поверхности, причины и закономерности их развития, результаты воздействия на окружающую среду.

ДИНАМИЧЕСКИЙ ЗАПАС ПОДЗЕМНЫХ ВОД — количество гравитационной воды, проходящее через площадь сечения потока в единицу времени и обеспеченное постоянным питанием. Средний статический запас подземных вод.

ДИНАМИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ — уровень подземных вод в скважине или колодезе, устанавливающийся во время откачки или при наливе воды. После прекращения откачки (налива) Д. у. постоянно изменяется до положения статического или пьезометрического.

ДИНАМОМЕТАМОРФИЗМ [гр. *dinamis* — сила + *метаморфизм*] — преобразование, видоизменение структуры и текстуры, реже минерального состава под действием высоких давлений, возникающих при тектонических движениях земной коры. Продукты Д.: милониты, катаклазиты, различные сланцы. См. *Метаморфизм*.

ДИСЛОКАЦИЯ [гр. *dislocatio* — смещение] — нарушение форм первичного залегания горных пород, вызванное тектоническими движениями земной коры, другими эндогенными или экзогенными процессами. Д. подразделяют на разрывные (сдвиг, надвиг, сброс, взброс, горст, грабен) и складчатые (антисинклиналь, синклиналь, моноклиналь, флексура).

ДОКЕМБРИЙ [*do* + *кембрий*] — отрезок времени в геологической истории Земли, предшествующий кембрийскому периоду палеозойской эры; 2) совокупность горных пород архейской и протерозойской эры.

ДОЛИНЫ — вогнутые, линейно вытянутые, большей частью извилистые формы рельефа, образованные деятельностью рек или ледников и имеющие уклон в направлении их течения. Д., заложение которых предопределено геологическими структурами, называют тектоническими. Различают Д. горные (глубокие при небольшой ширине, с неравномерным уклоном продольного профиля) и равнинные (широкие при относительно небольшой высоте и крутизне склонов).

ДОЛОМИТИЗАЦИЯ — процессы вторичного обогащения горных пород доломитом путем замещения им первоначальных составляющих, а также заполнения пустот, трещин, каверн. Д. наиболее развита в известняках, где происходит частичное или полное замещение минерала кальцита доломитом.

ДОПУСТИМАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ — такая концентрация вредных веществ в воздухе, почвах и воде, которая не нарушает равновесие в организмах и правильное их функционирование. Для разных веществ эта величина различна. Она может выражаться в весовых объемах и молярных единицах.

ДРЕНА [англ. *drain* — осушать] — подземное искусственное сооружение (перфорированная труба, гравийная засыпка, скважина и т. д.) для сбора и отвода подземных вод.

ДРЕНАЖ — система подземных каналов (дрен), служащая для понижения уровня грунтовых вод и осушения территорий, отвода поливных вод, при расселении земель.

ДРЕСВА — рыхлая осадочная горная порода, состоящая в основном из неокатанных обломков размером 2—10 мм.

ДРУМЛИНЫ [англ. *drumlin*—холм] — холмы продолговато-овального очертания ледникового происхождения, вытянутые длинной осью в направлении движения ледника и сложенные частично или полностью моренными отложениями. Высота Д. от 5 до 45 м, длина до нескольких километров, ширина 150—400 м. См. *Морены*.

ДУДКА — вертикальная горная выработка круглого сечения, проходящая с поверхности в устойчивых горных породах, диаметром 0,8—1,5 м, позволяющим делать описание горных пород внутри Д. и производить отбор образцов ненарушенной структуры для проведения испытаний. Проходка Д. глубиной до 50 м осуществляется буровым агрегатом.

ДЮНЫ [нем., ед. ч. *Dune*] — песчаные холмы или гряды, возникающие под воздействием ветра (на плоских берегах морей, рек, озер) и постоянно им передвигаемые. Д. имеют в плане форму параболы, «рога» которой направлены против ветра. Склоны Д. асимметричны: обращенный к ветру — пологий (8—20°), противоположный — крутой (30—40°); высота Д. обычно 10—20 м, иногда до 100 м.

ДЮПЮИ ФОРМУЛА [названа по имени французского ученого Дюпюи] — формула для расчета производительности колодца, скважины в ненапорных водоносных горизонтах.

Ж

ЖЕЛВАКИ — округлые карбонатные стяжения, образованные животными или водорослями.

ЖЕЛОНКА — инструмент, применяемый при бурении скважин, для подъема на поверхность водонасыщенного песка, жидкости и буровой грязи.

ЖЕРЛО ВУЛКАНА — канал, соединяющий очаг вулкана с поверхностью Земли.

ЖЕСТКОСТЬ ВОДЫ — совокупность свойств воды, обусловленных содержанием в ней ионов кальция и магния. Различают общую, временную (карбонатную) и постоянную (некарбонатную) Ж. в. Общая Ж. в. равна сумме катионов кальция и магния; временная Ж. в. (карбонатная) эквивалентна содержанию в воде гидрокарбонат-иона; постоянная Ж. в. составляет разность общей и карбонатной Ж. в.

ЖИЛА — протяженное в двух направлениях геологическое тело, образовавшееся в результате заполнения трещины магмой, минеральными веществами или осадочными горными породами.

ЗАБОЙ — 1) поверхность горной выработки (скважины), перемещающаяся в процессе проходки (бурения), в пределах которой происходит в данный момент разработка грунта; 2) нижняя поверхность вертикальной горной выработки (скважины).

ЗАБОЛАЧИВАНИЕ — 1) зарастание водоема болотной растительностью, из которой постепенно образуется торфяной покров; 2) процесс образования переувлажненных участков земной поверхности, зарастающих болотной растительностью. Причины 3.: подъем уровня грунтовых вод из оросительных систем, затрудненный поверхностный сток и др. См. *Болото*.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ — прямое или косвенное изменение физических, биологических и химических свойств составных частей окружающей среды, создающее ухудшение здоровья, существования и размножения различных биологических видов в результате поступления в окружающую среду различных твердых, жидких и газообразных веществ или различных видов энергии в количествах, превышающих пределы, допустимые для нормальной жизнедеятельности биоценозов. Различают физические и биологические загрязнители, во многом являющиеся результатом хозяйственной деятельности человека.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЕ — 1) загрязнение, возникающее в результате повышения численности и усиления жизненной деятельности организмов; 2) проникновение в данное сообщество (экосистему) видов растений и животных, чуждых для него; 3) случайное, в результате деятельности человека, проникновение в различные технические устройства организмов, чуждых для данных устройств и наносящих им вред; 4) распространение нежелательных, с точки зрения человека, биогенных веществ на территории, на которой они ранее не встречались. 3. б. — глобальное, прямое или косвенное изменение физических, химических и биологических свойств биосферы, нарушающих равновесие и ухудшающих условия существования человека. Выделяют следующие виды 3. б.: глобальное, которое ведет к экологическому кризису и может перерасти в экологическую катастрофу; естественное, вызванное поступлением в природную среду некоторых веществ (твердых, жидких, газообразных или живых) или смесей веществ, а также различных видов энергии в количестве, превышающем экологически допустимые пределы, в результате естественных (обычно катастрофических) процессов; микробиологическое (микробное), в том числе а) увеличение численности микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности; б) придание патогенных (болезнетворных) свойств ранее безвредным микробным популяциям или свойств, угнетающих другие организмы в сообществах; в) появление необычно высоких количеств микроорганизмов, обусловленное их массовым размножением в связи с деятельностью человека.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДЫ — поступление в воду различных видов веществ и энергии, которые превышают экологически допустимые пределы; к факторам загрязнения относят: 1) физические — твердые

предметы, пыль, механические частицы, радиоактивность и др.; 2) химические — отработанные горные породы, биоциды, отходы химической промышленности, канализационные воды, нефтепродукты; 3) социально-бытовые — туризм, бытовая деятельность и др.; 4) биологические — непредельное увеличение количества некоторых биологических видов, нарушающих равновесие в данном водном объеме. Все это препятствует миграции рыб, снижает количество кислорода в воде, повышает количество отравляющих веществ, ухудшает рекреационные условия и качество воды и приводит к тому, что она становится негодной для хозяйственных и питьевых нужд, нарушает экологическое равновесие.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА (атмосферы) — попадание в воздух веществ и энергии сверх допустимых экологических пределов, факторами загрязнения воздуха являются: 1) физические — радиоактивные, тепловые, шумовые, электромагнитные; 2) химические — пыль (промышленная, вулканическая, от песчаных и пылевых бурь), отравляющие газообразные вещества (индустриальные отходы, выбросы транспортных средств, использование боевых отравляющих веществ, испытаний ядерного оружия); 3) социально-бытовые — от бытовых и других социальных действий человека; 4) биологические — споры микроорганизмов и растений, пыльца, насекомые, вирусы. З. в. приводит к образованию смога, усилению эрозии, ухудшению рекреационных условий, отрицательному воздействию на биосистемы, загрязнению почв и вод, разрушению озонового слоя атмосферы, увеличению заболеваний среди растений, нарушению экологического равновесия.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ МОРСКОЙ ВОДЫ — прямое или косвенное воздействие человека веществами и энергией на морскую среду, которое может привести к пагубным последствиям: повреждению живых ресурсов и животных в море, опасности для здоровья человека, созданию препятствий деятельности в море и др.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ — нарушение и ухудшение структуры, качественного состава и плодородия почв вследствие попадания в нее физических и химических веществ (твердые отходы, промышленная пыль, радиоактивные и химические вещества; биоциды и др.). З. п. ведет к загрязнению воды и воздуха, отрицательно влияет на растения, животных, микроорганизмы и экологическое равновесие. Основное средство предотвращения З. п. — это экологизация производства через внедрение безотходных и малоотходных технологий и возведение очистительных станций и сооружений, а также устранение чрезмерного использования пестицидов, инсектицидов и гербицидов. З. п. механическое происходит вблизи населенных мест и промышленных предприятий за счет насыщения почв твердыми отходами производства и быта.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЕ — вид загрязнения окружающей среды, возникающий в результате использования человеком в своей хозяйственной деятельности различных видов техники.

ЗАИЛЕНИЕ — процесс отложения ила в водоемах и водотоках.

ЗАКАРСТОВАННЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ — горные породы, в которых развиты карстовые пустоты. См. *Карст* (воронка, пещера, полость).

ЗАКОНЫ ОБ ОХРАНЕ ЗЕМЕЛЬНЫХ И ВОДНЫХ РЕСУРСОВ — комплекс законодательных актов и нормативных документов, включая Конституцию РФ, направленных на обеспечение рационального использования земельных и водных ресурсов и охрану их от истощения и уничтожения.

ЗАКОПУШКА — ямообразная горная выработка (мелкий шурф), предназначенная для вскрытия исследуемых горных пород, залегающих на глубине до 0,6 м от поверхности.

ЗАМОК СКЛАДКИ — место общего перегиба слоев горных пород, в складке разделяющее ее боковые части, называемые крыльями. См. *Складка*.

ЗАНДРЫ, ЗАНДРОВЫЕ ПОЛЯ [исл. *sandr*, ед. ч. *sand*—песок] — пологоволнистые равнины, сложенные песчано-гравийными отложениями ледникового происхождения. См. *Ледниковые отложения*.

ЗАПАДИНЫ — мелкие замкнутые плоскостонные впадины, чаще округлой формы, широко распространенные в лесостепных, степных и полупустынных областях. Размеры З. в поперечнике от 10—15 м при глубине 3—5 м. Происхождение З. обусловлено главным образом развитием процессов суффозии и карста. Син. — блюдца степные, пади.

ЗАПАСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД — количество подземных вод, содержащихся в водоносном горизонте. З. п. в. подразделяют на статические и динамические, эксплуатационные и забалансовые, естественные и искусственные. Статические З. п. в. (син. — естественные запасы) — объем гравитационных вод, заключенных в порах или трещинах рассматриваемого объема горных пород. Динамические З. п. в. (син. — естественные ресурсы) — количество воды, протекающее через поперечное сечение рассматриваемого водоносного горизонта. Эксплуатационные З. п. в. (син. — эксплуатационные ресурсы) — количество подземных вод, которое может быть получено из водоносного горизонта в единицу времени технически возможными и экономически целесообразными методами без ухудшения качества воды в течение всего периода эксплуатации. Забалансовые З. п. в. — это такие, использование которых в настоящее время экономически или технически нецелесообразно, но может стать целесообразным в будущем. Искусственные З. п. в. — объемы подземных вод, сформировавшиеся в водоносном горизонте в результате искусственного пополнения (маганизирования), инфильтрации вод из каналов, водохранилищ, оросительных систем. Ср.: искусственные ресурсы — количество воды, поступающее в водоносный горизонт в единицу времени в результате целенаправленных инженерных мероприятий (маганизирование) или при утечке из каналов, водохранилищ, оросительных систем. Разведанные З. п. в. утверждаются государственными комиссиями по запасам полезных ископаемых. Эксплуатационные запасы подземных вод в зависимости от степени разведанности месторождений и изученности качества воды

подразделяют на четыре категории: *A* (наиболее изученные), *B*, *C*₁, *C*₂ (наименее изученные).

ЗАПАСЫ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ — количество минерального сырья данного вида в недрах Земли или на ее поверхности, определяемое по данным геологической разведки в весовом или объемном исчислении. З. п. и. подразделяют на балансовые (разработка месторождений экономически целесообразна) и забалансовые (разработка месторождений в данное время экономически или технически нецелесообразна). По степени разведанности и изученности З. п. и. классифицируют аналогично запасам подземных вод.

ЗАПЫЛЕНИЕ — вид загрязнения воздуха частицами пыли промышленного, вулканического происхождения, а также в результате пылевых и песчаных бурь.

ЗАХОРОНЕНИЕ — способ устранения из сферы человеческой деятельности различных веществ, материалов и энергии путем создания подземных или подводных хранилищ (складов), как правило, ограниченного размера со специальными устройствами, предотвращающими их попадание или проникновение в окружающую среду.

ЗАХОРОНЕНИЕ ОТХОДОВ — один из видов захоронения, специально разработанный для предотвращения загрязнения окружающей среды вредными отходами.

ЗЕМЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ — комплекс природных образований (земля, почва), потенциально пригодных для использования человеком в хозяйственной деятельности как в настоящем, так и в недалеком будущем.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ — колебания земной коры или ее участка, вызванные прохождением сейсмических волн, возникающих в результате кратковременного выделения из какого-либо источника большого количества упругой энергии. В зависимости от причины возбуждения колебаний З. подразделяют на тектонические (разрыв сплошности участка литосферы или мантии), вулканические (извержение вулкана), провалы (крупные обвалы, обрушение горных пород в карстовые полости) и искусственные (взрывы). Наиболее сильными, разрушительными и часто происходящими являются тектонические З. Плоскость, максимально приближенная к поверхности, вдоль которой произошло смещение горных пород, называется плоскостью разрыва, а область (объем), из которой выделилась сейсмическая энергия — областью очага или очагом (внутри очага лежит плоскость разрыва). Геометрический центр очаговой области называется гипоцентром или фокусом, ближайшая к гипоцентру точка на поверхности Земли — эпицентром, расстояние между эпицентром и фокусом — глубиной очага или фокусным расстоянием. Иногда гипоцентром (фокусом) называют место начала вспарывания поверхности разрыва. Энергия, выделившаяся в очаге, может выражаться абсолютной величиной (E , Дж), величиной энергетического класса ($K = \lg E$) или условной величиной, называемой магнитудой
$$M = \frac{K=5}{1,5} \div \frac{K=4}{1,8}.$$
 Магнитуда самых больших З.

$M = 8,5 \dots 8,6$, что соответствует выделению энергии $10^{17} - 10^{18}$ Дж или 17 — 18-му энергетическим классам.

Интенсивность проявления З. на поверхности Земли (сотрясаемость на поверхности) определяется по шкалам сейсмической интенсивности и оценивается в условных единицах — баллах. Балльность I является функцией магнитуды M , глубины очага h и расстояния от рассматриваемой точки до эпицентра L .

$$I = 1,5M - h3,5 \lg \sqrt{L^2 + h^2} + 3.$$

ЗЕМНАЯ КОРА — внешняя твердая оболочка Земли, ограниченная снизу Мохоровичича поверхностью. Различают континентальную (материковую) кору (мощность 35—40 км под равнинами, до 70 км в складчатых областях) и океаническую (мощность 5—10 км).

ЗЕРКАЛО ГРУНТОВЫХ ВОД — поверхность грунтовых вод, отделяющая гравитационные воды водоносного горизонта от капиллярных вод зоны аэрации. Графически З. г. в. отображается на карте гидроизо-гипс. Син. — поверхность грунтовых вод.

ЗЕРКАЛО СКОЛЬЖЕНИЯ — гладкая поверхность в массиве горных пород, возникшая при относительном перемещении смежных частей (участков) геологического тела. З. с. может образоваться при тектонических движениях вдоль разрывных нарушений или при оползневых подвижках.

ЗЕРНОВОЙ СОСТАВ — см. *Гранулометрический состав*.

ЗОНА АЭРАЦИИ [гр. *zone* — пояс + *aer* — воздух] — верхняя зона земной коры между поверхностью Земли и поверхностью грунтовых вод. В З. а. пустоты заняты воздухом (отсюда название), парами воды, гигроскопической и капиллярной водой. Гравитационная вода может присутствовать здесь лишь временно (верховодка).

ЗОНА НАСЫЩЕНИЯ — часть земной коры, где поры или трещины горной породы полностью заполнены водой.

ЗОНАЛЬНОСТЬ ГРУНТОВЫХ ВОД — закономерное увеличение общей минерализации и глубины залегания грунтовых вод от полюсов к экватору. Химический состав также закономерно меняется в этом направлении: гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные воды.

ЗОНД [фр. *sonde*] — приспособление, прибор, устройство, система, внедряемые в несколько горные породы или погружаемые в скважины и горные выработки с целью определения параметров геологической среды или геофизических полей. При статическом и динамическом зондировании З. состоит из конусного наконечника с углом раскрытия 60° и штанг, через которые передается усилие на наконечник, погружаемый в горную породу.

ЗОНДИРОВАНИЕ [фр. *sonder* — исследователь, выведывать] — полевой метод исследования песчано-глинистых нескальных горных пород путем вдавливания (статическое З.), забивки (динамическое З.) или вибрационно-забивного погружения (вибронзондирование) конусного наконечника (зонда) на глубину, превышающую его высоту. По результатам статического З. строятся графики зависимости удельного сопротивления грунта конусу зонда и сопротивления трения грунта по

боковой поверхности штанг от глубины погружения зонда. При динамическом З. строят график зависимости условного динамического сопротивления грунта от глубины нагружения конуса. Графики используются для выделения инженерно-геологических элементов, определения однородности грунтов по площади и глубине, приближенной количественной оценки характеристик свойств грунтов и др. З. применяется обычно в сочетании с другими методами, но может использоваться и самостоятельно (например, контроль за уплотнением грунтов).

ЗОНДИРОВОЧНАЯ СКВАЖИНА — см. *Скважины инженерно-геологические.*

ЗУМПФ (нем. *Sumpf* — болото) — углубление (приямок, емкость) в дне котлована, карьера, горной выработки, используемое для сбора (накопления) подземных вод с целью их последующего удаления (откачки).

ЗЫБУН (трясина) — плавающий на поверхности зарастающих водоемов зыбкий растительный ковер толщиной 1—2 м, образованный мхами и другими растениями, собственными болотам. По мере утолщения З. нижние слои его отмирают и попадают на дно водоема, превращаясь в торф.

И

ИГЛОФИЛЬТР [*игла* + лат. *filtrum* — войлок] — устройство в виде трубы диаметром 40—70 мм с заостренным концом, имеющее в нижней части фильтр, погружаемое в горную породу (часто с гидроподмывом) и используемое для откачки воды с целью понижения уровня грунтовых вод. По принципу работы И. является вертикальным водозабором.

ИЗО... [гр. *isos* — равный, одинаковый, подобный] — часть сложных слов, обозначающая равенство, подобие по форме или назначению.

ИЗОБАТЫ [*изо...* + гр. *bathys* — глубокий] — линии равных глубин водного бассейна, слоев горных пород.

ИЗОЛИНИИ [*изо...* + *линии*] — линии на карте или разрезе, соединяющие точки с одинаковыми количественными показателями какой-либо величины.

ИЗОПАХИТЫ [*изо...* + гр. *pachys* — толстый] — линии на карте, соединяющие точки с одинаковыми мощностями разновозрастных отложений.

ИЗОСЕЙСТЫ [*изо...* + гр. *seistos* — поколебленный, приведенный в колебание] — линии на карте, соединяющие точки, в которых землетрясение проявилось с одинаковой силой (интенсивностью сотрясения, балльностью).

ИЗОТЕРМЫ [*изо...* + гр. *therme* — теплота, жар] — линии на картах или разрезах с одинаковыми температурами горных пород, подземных вод, воздуха за какой-либо период времени.

ИЗЫСКАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ — производственный технологический процесс получения, накопления, обработки

инженерно-геологической информации о геологической среде и прогнозе ее изменения во времени. В соответствии со строительными нормами и правилами (СНиП 11.02—96) И. и.-г. должны обеспечивать комплексное изучение инженерно-геологических условий района (площадки, участка, трассы) проектируемого строительства, включая рельеф, геоморфологические, сейсмические условия, геологическое строение, состав, состояние и свойства грунтов, геологические процессы и явления, изменения условий освоенных (застроенных) территорий с целью получения необходимых и достаточных для обоснования проектирования объектов с учетом рационального использования и охраны геологической среды, а также данных для составления прогноза изменений инженерно-геологических условий при строительстве и эксплуатации предприятий, зданий и сооружений. В состав И. и.-г. входят сбор, обработка, анализ и использование материалов изысканий прошлых лет; дешифрование космо- и аэрофотоматериалов; маршрутные наблюдения; проходка горных выработок; геофизические исследования; полевые и лабораторные исследования грунтов; гидрогеологические исследования; стационарные наблюдения; обследование грунтов оснований существующих зданий и сооружений; камеральная обработка материалов.

ИНДЕКСЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ [лат. *index* — указатель, список]—система буквенных и цифровых условных обозначений для указания относительного возраста, стратиграфической последовательности накопления и условий образования горных пород. См. *Геохронологическая шкала*.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДИНАМИКА [geo... + гр. *dynamikos* — относящийся к силе, сильный] — научное направление инженерной геологии, изучающее морфологию, механизм, причины (геологические и др.) и пространственно-временные закономерности развития в геологической среде природных геологических и инженерно-геологических (антропогенных, техногенных) процессов и явлений. Основное внимание уделяется изучению процессов, протекающих в приповерхностной части геологической среды (экзогенные геологические процессы).

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ — наука о свойствах и динамике геологической среды, ее рациональном использовании и охране в связи с инженерно-хозяйственной, прежде всего инженерно-строительной деятельностью человека. И. г. включает в себя три главных самостоятельных, тесно связанных между собой научных направления, изучающих три главных элемента геологической среды: грунтоведение — изучает горные породы (грунты) и почвы; инженерную геодинамику — изучает природные и антропогенные геологические процессы и явления; региональную И. г. — изучает строение и свойства геологической среды определенной теории.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ — комплекс сведений о свойствах некоторого объема геологической среды, учитываемых при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений и прогнозе изменений геологической среды (геологическое строе-

ние, геоморфология, гидрогеологические условия, состав, состояние и свойства грунтов, геологические и инженерно-геологические процессы и явления, сейсмичность).

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ — выявление в сложной и многосторонней геологической среде на основе совокупности теоретических положений и методических приемов системы территориальных элементов, обладающих какими-либо общими инженерно-геологическими признаками, ограничение их от территорий, не обладающих этими признаками, систематика, картографирование и описание.

ИНСЕКВЕНТНЫЙ ОПОЛЗЕНЬ [лат. *in* — приставка, означающая здесь отрицание + лат. *sequentis* — следующий согласно чему-либо; назван за то, что поверхность скольжения оползня не совпадает с поверхностью напластования горных пород] — оползень, поверхность скольжения которого режет под углом поверхность напластования горных пород.

ИНФИЛЬТРАЦИОННАЯ ГИПОТЕЗА — гипотеза, объясняющая происхождение (образование) и пополнение подземных вод за счет инфильтрации (просачивания) атмосферных осадков, талых вод и вод поверхностных водоемов и водотоков через зону аэрации. Впервые высказана М. Витрувием Поллио в I в. до н. э.

ИНФИЛЬТРАЦИЯ [лат. *in* — в + *filtratio* — процеживание] — нисходящее движение свободной (гравитационной) воды в ненасыщенных ею горных пород по порам и мелким трещинам. Г.Н. Каменский различает свободное просачивание (вода движется при частичном заполнении пор в виде разрозненных и изолированных одна от другой струек) и нормальную инфильтрацию (вода движется на значительной площади при полном заполнении всего перового пространства). См. *Инфлюация*.

ИНФЛЮАЦИЯ (лат. *influere* — вливаться, проникать) — втекание поверхностных вод и атмосферных осадков в толщи горных пород путем перемещения сверху вниз по крупным трещинам, пустотам, карстовым полостям.

ИНЪЕКЦИЯ [лат. *injectio* — выбрасывание] — нагнетание в поры и трещины различных растворов (цементного, силикатного и др.) с целью повышения прочности или уменьшения водопроницаемости массива горных пород.

ИСТОК — место начала реки, где появляется постоянное течение воды в русле. И. часто являются родники, озера, болота, ледники.

ИСТОЧНИКИ — естественные выходы подземных вод на земную поверхность (на суше или под водой). Хорошо различимы выходы грунтовых (нисходящие И.) и артезианских вод (восходящие И.). По изменению дебита во времени различают И. с постоянным, слабоизменчивым, изменчивым дебитом; по времени существования — постоянные, периодические, сезонные, временные; по температуре — кипящие, горячие, теплые, холодные. Син. — родники, ключи.

КАВЕРНА [лат. *caverna* — полость, пещера] — пустота, полое пространство, образовавшееся в горной породе (крупнее пор, но мельче пещер).

КАДАСТР ВОДНЫЙ [фр. *cadastre* — лист, список, реестр] — систематизированный свод сведений о водных ресурсах страны или области.

КАЙНОЗОЙ [гр. *kainos* — новый + *zoe* — жизнь] — сокращенное название кайнозойской группы и эры, самой молодой в геологической истории Земли. См. *Геохронологическая шкала*.

КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ [лат. *camere* — комната] — всесторонняя производственная и научная обработка и систематизация материалов, собранных и полученных в процессе выполнения полевых и лабораторных работ при инженерно-геологических изысканиях, составление отчета, карт, разрезов и других графических материалов. Син. — камеральная обработка материалов.

КАМНИ ПОДЕЛОЧНЫЕ — название минералов и горных пород, обладающих декоративными или другими ценными свойствами и используемых для изготовления украшений и предметов искусства.

КАМЫ [нем. *Kamm* — гребень] — холмы и гряды высотой от 2—5 до 20—30 м в областях распространения материкового оледенения, сложенные сортированными песками и линзами и прослоями супесчано-глинистого материала, иногда с включением валунов и скоплениями крупнообломочного материала. Характерна слоистость, примерно повторяющая контур поперечного профиля. Сверху К. часто перекрыты моренами.

КАНАВА — горизонтальная горная выработка трапециевидного сечения глубиной до 3 м. Применяется для вскрытия и изучения крутопадающих слоев горных пород при мощностях перекрывающих отложений до 2,5 м.

КАНАЛ [лат. *canalis* — труба, желоб] — искусственное русло (водо-вод) с безнапорным движением воды, обычно устраиваемое в грунте.

КАНЬОН [исп. *cañon* — труба, ущелье] — глубокая узкая речная долина с отвесными или очень крутыми, нередко ступенчатыми склонами и относительно узким дном, почти полностью занятым руслом реки.

КАПИЛЛЯРНАЯ ВОДА [лат. *capillaris* — волос; название дано за то, что вода движется вверх по очень тонким волосяным порам или трещинам] — вода, поднимающаяся по тонким порам или трещинам выше уровня (зеркала) грунтовых вод (капиллярно-поднятая, капиллярно-непрерывная) или часть инфильтрующейся воды, удерживаемая в горных породах силами поверхностного натяжения (капиллярно-подвешенная). Эта вода располагается в виде капиллярной каймы над уровнем первого от поверхности водоносного горизонта. Мощность капиллярной каймы (носит название высоты капиллярного поднятия) зависит от литологического состава водовмещающих пород и колеблется от 2—4 см в крупных песках до 1—2 м в суглинках.

КАПИЛЛЯРНАЯ КАЙМА — см. *Капиллярная вода*.

КАПТАЖ [фр. *captage* — захватывание; лат. *captare* — хватать, стараться поймать] — инженерно-технические работы по вскрытию, захвату и выводу на поверхность земли подземных вод, а также устройств для выполнения этих работ.

КАПТАЖ ИСТОЧНИКА — расчистка, благоустройство и оформление естественного выхода подземных вод.

КАР (нем. *Kar* — цирк; шотл. *corrie* — кресло] — чашеобразное (креслообразное) углубление в привершинной части салонов гор (выше снеговой линии), образовавшееся под воздействием небольших ледников, снежников, процессов физического выветривания. Стенки К. крутые, дно пологое, вогнутое. К. часто заполнены льдом, фирном, водой (высокогорные озера).

КАРБОН [лат. *carbon* — уголь] — сокращенное название каменноугольной системы и периода. В отложениях К. встречаются месторождения каменного угля. См. *Стратиграфическая шкала*.

КАРОТАЖ [фр. *carottage* от *carotte* — буровой керн, букв. — морковь] — исследование горных пород в буровых скважинах, других горных выработках (или при выполнении статического зондирования) геофизическими методами (электрическим, магнитным, радиоактивным, акустическим, термическим и др.) с целью расчленения разреза на слои, определения глубины залегания, мощности и строения каждого слоя, количественной оценки состава, состояния и свойств горных пород, решения других геологических задач.

КАРРЫ [нем. *Karren*] — система борозд — желобков глубиной от нескольких сантиметров до 1—2 м и более, разделенных острыми гребнями и выступами, возникшая на поверхности растворимых пород (известняков, гипсов и др.) в результате их выщелачивания стекающими струями дождевых или талых вод. Характерны для областей развития карста.

КАРСТ [нем. *Karst*, по названию одноименного известнякового плато в Югославии] — процесс растворения и выщелачивания растворимых горных пород (карбонаты, сульфаты, галоиды) поверхностными или подземными водами и явления, вследствие этого возникающие (карстовые пустоты, пещеры, воронки, карры и др.). В зависимости от состава карстующихся пород выделяют карбонатный, сульфатный и соляной К. Степень растворимости горных пород зависит от агрессивности природных вод, в том числе от содержания свободной углекислоты.

КАРСТОВАЯ ВОРОНКА — впадина на поверхности земли чашеобразной, конической, цилиндрической и другой формы, диаметром от 1 до 200 м, глубиной от 0,5 до 50 м, образовавшаяся в результате обрушения вышележавших пород в карстовую полость или выщелачивания растворимых пород, залегающих у поверхности земли. См. *Карст*.

КАРСТОВАЯ ПЕЩЕРА — подземная полость в массиве карстующихся горных пород, сообщающаяся с поверхностью земли одним или несколькими отверстиями (каналами). Длиннейшие К. п. мира превышают 100 км. См. *Карст*.

КАРСТОВАЯ ПОЛОСТЬ — пустота, полость в массиве карстующихся горных пород, не имеющая непосредственной связи с поверхностью земли. См. *Карст*.

КАРСТОВЫЕ ВОДЫ — подземные воды, циркулирующие в разнообразных карстовых полостях, пещерах и других формах подземного карста. К. в. имеют своеобразный режим, часто непосредственно не связаны с поверхностными водами.

КАРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ [гр. *chartes* — лист или список папируса для письма] — графическая модель верхней части литосферы, отображающая на плоскости в уменьшенном масштабе ее пространственную структуру, состав, возраст. По содержанию подразделяются на стратиграфические (указан возраст пород индексами или цветом) и литолого-стратиграфические (дополнительно штриховкой показан состав пород); по масштабу подразделяются на обзорные, мелко-, средне-, крупномасштабные. Разновидности К. г.: четвертичных отложений, инженерно-геологические и др.

КАРТЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ — карты, отображающие на плоскости в уменьшенном масштабе рельеф, его происхождение, развитие и возраст. См. *Геоморфология*.

КАРТЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ — карты, отображающие на плоскости условия и глубину залегания, распространение, форму поверхности, химический состав или другие параметры подземных вод. По содержанию информации К. г. подразделяются на карты гидроизогипс, гидроизопьез, гидроизобат, специальные (общей минерализации, химизма, колебаний уровней и др.).

КАРТЫ ГИДРОИЗОБАТ — карты изолиний глубин залегания уровней грунтовых вод. На К. г. выделяются участки с различной глубиной залегания уровней грунтовых вод.

КАРТЫ ГИДРОИЗОГИПС — карты, отображающие положение безнапорной поверхности (зеркала) грунтовых вод. По К. г. можно определить направление течения подземного потока, гидравлический градиент (уклон) на различных участках и решать другие задачи. См. *Гидроизогипсы*.

КАРТЫ ГИДРОИЗОПЬЕЗ — карты, отображающие положение условной напорной (пьезометрической) поверхности артезианских вод. По К. г. можно определить направление течения напорных вод, напорный градиент на различных участках, решать другие задачи. См. *Гидроизопьезы*.

КАРТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ — графические модели верхней части литосферы, на которых отображены наборы компонентов инженерно-геологических условий или данные результатов их инженерно-геологической оценки. Подразделяются на карты инженерно-геологических условий (отображены свойства геологической среды, которые используются для инженерно-геологической оценки территории, но сама оценка на них в явном виде не представлена) и карты инженерно-геологического районирования (территория разделена на части в соответствии с некоторой мерой однородности инженерно-геологических условий или на части, каждой из которых приписана оцен-

ка, ранжирующая их по степени благоприятности освоения). См. *Инженерно-геологические условия, Геологическая среда*.

КАРТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ — см. *Карты инженерно-геологические*.

КАТАГЕНЕЗ (гр. *kata* — движение вниз; усиление или завершение процесса + ...*генез*) — стадия физико-химического преобразования осадочных горных пород, характеризующаяся их интенсивным уплотнением и цементацией в результате возрастающего давления вышележащих толщ. К. следует за диагенезом и предшествует метаморфизму.

КВАРТЕР [лат. *quarta* — четверть] — редко употребляемое сокращенное название четвертичного периода и системы. См. *Геохронологическая шкала*.

КЕМБРИЙ [лат. *Cambria* — старое название Уэльса, Великобритания] — сокращенное название кембрийской системы и периода. См. *Геохронологическая шкала*.

КЕРН [нем. *Kern* — ядро, сердцевина] — цилиндрический столбик (колонка) горных пород, остающийся внутри бурового снаряда (колонковой трубы) при колонковом бурении и периодически поднимаемый вместе со снарядом на поверхность для описания и последующего лабораторного исследования.

КИСЛОТНЫЙ ДОЖДЬ — дождь и снег с повышенной кислотностью, выпадающие на земную поверхность. Осадки всегда были наиболее чистыми из природных вод. Деятельность человека оказывает значительное влияние на чистоту осадков. Диоксид серы и сероводород, содержащиеся в промышленных газах, окисляющиеся и гидролизующиеся в атмосфере, могут превращаться в серную кислоту. Оксиды азота аналогичным путем переходят в азотную кислоту. Если эти две кислоты содержатся в атмосферных осадках, их рН опускается ниже 5,6. Наименьшая величина рН (2,4) в дождевых осадках была отмечена в Шотландии 10 апреля 1974 г. К. д. очень опасен для живых организмов. Эта опасность выражается в изменении состава и деятельности микробиоценозов, уничтожении рыб, нарушении питательных цепочек в экосистеме, изменении поведения организмов. К. д. результат не только местного, но и трансграничного загрязнения и отрицательные последствия его трудно оценимы.

КЛАСС [лат. *clasis* — разряд] — систематическая единица, входящая в подразделения органического мира.

КЛАСС ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ [лат. *clasis* — разряд] — энергетическая характеристика очага землетрясения. К. з. численно равен десятичному логарифму энергии, выделившейся в очаге и выраженной в джоулях. См. *Землетрясения*. Син. — энергетический класс землетрясения.

КЛАССИФИКАЦИИ ГРУНТОВ [лат. *clasis* — разряд, группа + *facio* — раскладываю (по группам)] — подразделение грунтов на классы, группы и другие таксономические единицы, в каждой из которых будут горные породы, близкие по своим, инженерно-геологическим свойствам. Различают общие, частные, региональные и отраслевые К. г., построенные, исходя из основного положения грунтоведения: свойства грунтов определяются их происхождением и процессами последу-

ющего преобразования. Общая К. г. — основа для составления остальных классификаций, приведена в ГОСТ 25 100—95 и включает в себя следующие таксономические подразделения: класс (скальные, нескальные) — по характеру структурных связей; группа (магматические, осадочные, метаморфические, искусственные) — по происхождению (генетическое подразделение первого порядка); подгруппа — по условиям образования (генетическое, подразделение второго порядка); тип — по составу и степени неоднородности; вид — по структуре, текстуре, составу цемента; разновидность — по состоянию, свойствам, химическому составу.

КЛАССИФИКАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД [лат. *clasis* — разряд + лат. *facio* — раскладываю] — выделение подземных вод по различным признакам, условиям залегания, напору, химическому составу, общей минерализации, жесткости воды, температуре, кислотности и др. По характеру (условиям) залегания выделяются верховодка, грунтовые, межпластовые безнапорные и артезианские воды. По температуре различают: переохлажденные (0 °С), холодные (0—20 °С), теплые (20—37 °С), весьма горячие (50—100 °С) и перегретые (100 °С) воды. По величине водородного показателя рН подземные воды подразделяются на очень кислые (рН < 5), кислые (рН = 5...7), нейтральные (рН = 7), щелочные (рН = 7...9), высокощелочные (рН = 9).

КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ — показатели состава и свойств, используемые для определения наименования грунта по ГОСТ 25 100—95 или по другим классификациям.

КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДЫ КАК ЖИДКОЙ КОМПОНЕНТЫ ГРУНТА — в форме пара; физически связанная (прочно и рыхлосвязанная); капиллярная, свободная (гравитационная), в твердом состоянии (лед), химически связанная.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ГЕНЕТИЧЕСКАЯ — классификация по происхождению: магматические; осадочные, метаморфические горные породы.

КЛИВАЖ [фр. *kliva* — расслаивание, расщепление] — вторичная сланцеватость (расщепление горных пород на тонкие пластинки), направленная под углом к плоскости первичного напластования. Образуется в процессе образования линейных складок при тектонических движениях земной коры.

КЛИМАТ [гр. *klimatos*] — совокупность атмосферных (метеорологических) условий, таких, как температура, влажность, осадки, ветер, присущих данной территории.

КЛИМАТОЛОГИЯ [*климат* + ...логия] — наука, изучающая вопросы образования климата, описания и классификации климата земного шара в прошлом и настоящем, а также воздействия человека на климат.

КЛЮЧ — см. *Источник*.

КОЛИ-ИНДЕКС — количество кишечных палочек в 1 л (для твердых тел в 1 кг) исследуемого материала (подземные воды, грунты); показатель фекального (бактериологического) загрязнения.

КОЛИ-ТИТР — показатель бактериологического загрязнения вод, в том числе подземных; численно равен объему исследуемой воды в миллилитрах, приходящемуся на одну кишечную палочку.

КОЛЛЕКТОР [лат. *collector* — собиратель] — в гидрогеологии — слой (пласт) горных пород, содержащий или имеющий возможность содержать в порах и трещинах свободную (гравитационную) воду.

КОЛЛЮВИЙ, КОЛЛЮВИАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ [лат. *colluvio* — скопление] — продукты выветривания (обломочный и глинистый материал), смещенные вниз по склону под действием силы тяжести. Накапливается К. на склонах и у подножия гор (возвышенностей).

КОЛОДЕЦ — вертикальная горная выработка, используемая в качестве водозабора подземных вод.

КОЛОДЕЦ ПОГЛОЩАЮЩИЙ — вертикальная горная выработка, служащая для приема поверхностных, грунтовых или промышленных вод с целью сброса их в водоносный горизонт или коллектор.

КОЛЬМАТАЖ [фр. *colmatage* — наполнение] — естественный или искусственный вмыв мельчайших глинистых, илистых, пылеватых частиц в поры горных пород, грунтов, стенки каналов, борта водохранилищ. В результате К. уменьшается водопроницаемость грунтов. Син. — кольматация.

КОМПАС ГОРНЫЙ [лат. *compasso* — измеряю] — прибор для ориентирования на местности и определения элементов залегания геологических тел, азимутов простирания и падения, угла падения.

КОМПРЕССИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ — см. *Компрессия*.

КОМПРЕССИЯ [лат. *compressio* — сжатие] — сжатие грунтов без возможности бокового расширения. Производится в лабораторных условиях в одометрах с целью определения коэффициента сжимаемости и модуля общей деформации. По результатам испытания строят компрессионную кривую — зависимость коэффициента пористости грунта от вертикального давления.

КОНДЕНСАЦИЯ [лат. *condensatio* — сгущение, уплотнение] — переход вещества, в том числе воды из парообразного состояния в жидкое или твердое.

КОНДЕНСАЦИОННАЯ ГИПОТЕЗА — гипотеза, объясняющая образование части подземных вод за счет конденсации паров воды, находящихся в порах или трещинах горных пород, превращение их в свободную (гравитационную) воду и инфильтрацию в водоносные горизонты.

КОНДИЦИЯ КАРТЫ [лат. *conditio* — норма, стандарт] — совокупность требований нормативных документов (стандартов) к полноте и качеству информации. Устанавливается для карт конкретного назначения и масштаба.

КОНРАДА ПОВЕРХНОСТЬ (Конрада граница) [по имени австрийского геофизика В. Конрада, открывшего ее при изучении землетрясения в Альпах в 1925 г.] — поверхность, разделяющая гранитный и базальтовый слои материковой земной коры. Определена К. п. по существенному скачкообразному изменению скоростей сейсмических волн при переходе от одного слоя к другому.

КОНСЕКВЕНТНЫЙ ОПОЛЗЕНЬ [лат. *consequentis* — последовательный, согласно следующий] — оползень, скольжение которого происходит по заранее обусловленной поверхности (граница между слоями, трещинами).

КОНСИСТЕНЦИЯ [лат. *consistentis* — состояние, подвижность] — состояние, густота глинистого грунта; зависит от влажности и структуры (естественная, нарушенная, искусственно созданная). Количество К. грунта нарушенной структуры выражается показателем консистенции (текучести).

КОНСОЛИДАЦИЯ [лат. *con* — с, вместе + *solidare* — уплотнять, сращивать] — уплотнение грунта под действием сжимающих усилий (в том числе от собственного веса) до полного окончания процессов деформации под данной нагрузкой.

КОНТАКТОВЫЙ МЕТАМОРФИЗМ [лат. *contactus* — соприкосновение] см. *Метаморфизм*, *Метаморфические горные породы*.

КОНТИНЕНТ [лат. *continens (continentis)* — материк] — см. *Материк*.

КОНУС ВЫНОСА — форма рельефа, имеющая вид слабовыпуклого полуконуса, образованного скоплением обломочного материала в устьевой части временных водных потоков и небольших рек при выходе их из узких долин и ущелий на предгорные (межгорные) равнины или более широкие долины. Возникает вследствие отложения крупных обломков и мелких частиц, связанного с уменьшением скорости течения.

КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ — комплекс горных пород, возникших в верхней части литосферы в результате преобразования в континентальных условиях магматических, метаморфических и осадочных горных пород под влиянием различных факторов выветривания.

КОРЕННЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ — общее условное название плотных или сцементированных горных пород, лежащих под верхним слоем рыхлых или менее плотных пород. Например, плотные невыветрелые глины неогена могут быть горными породами по отношению к четвертичным супесям или по отношению к слою элювия этих же глин.

КОРРАЗИЯ [лат. *corrasio* — обтачивание] — процесс обтачивания, шлифования, полирования, высверливания горных пород обломочным материалом, перемещаемым водой, ветром, льдом, силами гравитации, а также обтачивание самих обломков.

КОРРОЗИЯ [лат. *corrosio* — разъедание] — в геологии изменение или разрушение горных пород в результате частичного растворения их водой.

КОСА — песчаное, гравийное или галечное нанесение в русле реки (речная К.) или в море у берега (морская К.), возвышающееся над водой, вытянутое по течению и одним концом соединяющееся с берегом.

КОСМОСНИМКИ — результаты съемки земной поверхности (территорий и акватории) с космических летательных аппаратов, движущихся вне пределов атмосферы Земли, с использованием специальной аппаратуры. Для анализа К. применяются соответствующие методы.

КОЭФФИЦИЕНТ ВОДООТДАЧИ — отношение объема свободно вытекающей (или извлекаемой) из грунта воды (при полном первоначальном заполнении пор водой) к объему всего грунта.

КОЭФФИЦИЕНТ ВОДОПРОВОДНОСТИ ВОДОНОСНОГО СЛОЯ (ПЛАСТА) — произведение коэффициента фильтрации грунта данного слоя на мощность этого слоя.

КОЭФФИЦИЕНТ КОНСИСТЕНЦИИ — см. *Показатель консистенции. Консистенция.*

КОЭФФИЦИЕНТ НЕОДНОРОДНОСТИ — см. *Степень неоднородности.*

КОЭФФИЦИЕНТ ПОРИСТОСТИ — отношение объема пор к объему твердой части скелета грунта.

КОЭФФИЦИЕНТ ПЬЕЗОПРОВОДНОСТИ — произведение мощности водоносного пласта напорных (артезианских) вод на среднее значение коэффициента фильтрации этого пласта.

КОЭФФИЦИЕНТ РАЗМЯГЧАЕМОСТИ — отношение временных сопротивлений одноосному сжатию скального грунта в водонасыщенном и в воздушно-сухом состоянии.

КОЭФФИЦИЕНТ ФИЛЬТРАЦИИ — скорость фильтрации при напорном (гидравлическом) градиенте, равном единице.

КРАТЕР [гр. *krater* — большая чаша] — чашеобразное или воронкообразное углубление на вершине или склоне вулкана диаметром от нескольких метров до нескольких километров; на дне К. располагается одно или несколько жерл, через которые происходило или происходит поступление на поверхность земли продуктов извержения.

КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ [гр. *kryos* — холод, мороз, лед + *genesis*] — физические, физико-химические и биохимические процессы, происходящие в промерзающих, мерзлых и протаивающих грунтах и горных породах.

КРИОЛИТОЗОНА [гр. *kryos* — холод + *litos*... + гр. *zōnē* — пояс] — зона развития в литосфере многолетнемерзлых горных пород.

КРИСТАЛЛ [гр. *krystallos* — лед, горный хрусталь; минерал, который всегда имеет кристаллическое строение] — твердое тело, атом и молекулы которого образуют закономерно упорядоченную структуру.

КРОВЕЛЬНЫЙ СЛАНЕЦ — плотная, неразмокающая в воде разновидность глинистого сланца, применялся в качестве кровельного материала.

КРОВЛЯ — в геологии поверхность, ограничивающая сверху слой или пласт. См. *Подошва слоя.*

КРУГОВОРОТ ВОДЫ В ПРИРОДЕ — непрерывное движение, циркуляция, взаимопроникновение и взаимозамещение атмосферных, поверхностных и подземных вод, происходящее под влиянием солнечной радиации и силы тяжести.

КРЫЛО СКЛАДКИ — боковая часть складки, где слои имеют односторонний наклон и примерно одинаковые углы падения. В складке выделяются два крыла; место перехода одного в другое (место перегиба) называется замком. См. *Складка.*

КУЛЬТУРНЫЙ СЛОЙ — в археологии верхний слой литосферы, содержащий остатки древней деятельности человека: сооружения, строительный и хозяйственный мусор, золу и пр. Мощность К. с. может достигать десятков метров.

КУПОЛ [лат. *cupola* — купол, свод] — 1) форма залегания магматических излившихся горных пород, возникающая на земной поверхности при выдавливании из жерла вулкана очень вязкой лавы; 2) округлое тектоническое поднятие слоев земной коры, характеризующееся наклоном во все стороны от центра К.

КУПОЛ СОЛЯНОЙ — округлое поднятие слоев земной коры с ядром из каменной или других солей.

КУРЛОВА ФОРМУЛА [по фамилии М.Г. Курлова, предложившего форму записи] — форма записи химического состава подземных вод в виде псевдодробы, в числителе которой записываются главные анионы (HCO_3^{-1} , SO_4^{-2} , Cl^{-1} , %-экв) в убывающем порядке их содержания, а в знаменателе — главные катионы (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , %-экв) в таком же порядке. Слева от дроби проставляют общую минерализацию воды (M , г/л), справа — температуру воды (T , °C), а для скважины — дебит (D , л/сут).

КУРУМЫ — значительные по площади скопления круглых глыб и полуокатанных валунов, образующиеся в горах в результате интенсивного выветривания горных пород и гравитационного перемещения обломков. Залегают в виде плаща на пологих склонах и плоских вершинах («каменные моря») или в виде медленно движущихся вниз по склону полос («каменные реки»). К. лишены растительности. Син. — каменные потоки.

КЯРИЗ [перс.] — подземное сооружение для сбора грунтовых вод и вывода их на поверхность в целях орошения.

Л

ЛАВА [итал. *lava* — затопляю от лат. *labes* — обвал, падение] — расплавленная жидкая или очень вязкая, преимущественно силикатная масса, изливающаяся на поверхность земли при извержении вулканов.

ЛАВИНА [нем. *Lawine*, от лат. *labin* — оползень, снежный оползень или обвал] — массы снега на горных склонах, пришедшие в движение: падающие, соскальзывающие, низвергающиеся. Скорость движения 20—30 м/с. Падение и сход Л. сопровождается образованием воздушной предлавиной волны, производящей значительные разрушения.

ЛАГУНА [итал. *laguna* от лат. *lagus* — озеро] — неглубокий естественный водоем, соединяющийся с морем узким проливом или отдаленный от него полосой береговых валов, пересыпей, гряд.

ЛАГУННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ — осадочные горные породы, образующиеся или ранее образовавшиеся в лагунах.

ЛАККОЛИТ [гр. *lakkos* — яма, углубление, полость + ...*lit*] — своеобразное геологическое тело, сложенное магматическими горными породами, кровля которого имеет форму свода, а подошва близка к го-

ризонтальной плоскости. Образуется на сравнительно небольшой глубине при внедрении магмы между слоями осадочных горных пород в том случае, если верхние породы сводообразно приподнимаются.

ЛАНДШАФТ [нем. *Landschaft*] — природно-территориальный комплекс, в естественных границах которого природные компоненты (грунты, рельеф, климат, почвы, воды, растительность, животные) образуют взаимосвязанное и взаимообусловленное единство.

ЛАПИЛЛИ [лат. *lapillus* — камешек] — округлые или угловатые обломки магмы или лавы размером 10—30 мм, выброшенные при вулканических извержениях вместе с вулканическими бомбами и пеплом и застывшие в полете.

ЛЕГЕНДА КАРТЫ [лат. *legenda* — то, что должно быть прочитано] — свод условных знаков и пояснений к карте, раскрывающих ее содержание.

ЛЕДНИКИ — естественные скопления льда на земной поверхности, обычно движущиеся. Образуются там, где твердых атмосферных осадков отлагается больше, чем тает и испаряется. В пределах движущихся Л. выделяют области питания и абляции. Общая площадь современных Л. около 16,1 млн км², общий объем Л. около 30 млн м³. Син. — глетчеры.

ЛЕДНИКОВО-МОРСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ — так называемый моренный материал, занесенный в море айсбергами. Эти осадки представлены смесью морских (часто глубоководных) образований с большим количеством несортированного, вплоть до крупных обломков, грубого материала, поступившего с суши.

ЛЕДНИКОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ — большая группа отложений, образование которых генетически связано с деятельностью древних или современных ледников. Включают различные типы морен: флювиогляциальные, озерно-ледниковые и ледниково-морские отложения. См. *Камы, Озы, Экзарация*. Син. — гляциальные отложения.

ЛЕДНИКОВЫЕ, ЛЕДНИКОВАЯ ЭПОХА — отрезок времени в геологической истории Земли, характеризующийся сильным похолоданием климата и развитием обширных материковых льдов не только в полярных, но и в умеренных широтах. Син. — гляциал.

ЛИМАНЫ [гр. *liman* — гавань, бухта] — вытянутые заливы с извилистыми в план невысокими берегами, образующиеся при затоплении морем долин равнинных рек и балок в результате относительного погружения прибрежных частиц суши. Л. могут быть открытыми, имеющими связь с морем (губы), и закрытыми, отдаленными от моря косой или пересыпью.

ЛИМНИГРАФ [гр. *limne* — озеро + *grapho* — пишу] — прибор для регистрации (автоматической записи) уровня воды в озере, море, реке, буровых скважинах, других горных выработках.

ЛИМНОЛОГИЯ [гр. *limne* — озеро + ...логия] — озероведение.

ЛИНЗА [лат. *lens* — чечевица] — округлое или овальное геологическое тело с уменьшением мощности к краям по всем направлениям.

ЛИПКОСТЬ — способность грунтов с определенной влажностью прилипать к поверхности различных предметов и прочно удерживаться в виде достаточно толстого слоя.

ЛИСТОВАТАЯ ТЕКСТУРА — вид текстуры горных пород, составные части которой представляют собой агрегаты минералов, имеющих весьма совершенную спайность.

ЛИТИФИКАЦИЯ [гр. *lithos* — камень + лат. *facere* — делать] — изменения, происходящие в осадках после их отложения, приводящие к образованию осадочных горных пород и последующему их окаменению (цементации). Л. сопровождается уплотнением и дегидратацией осадка под давлением вышележащих толщ, кристаллизацией коллоидных и химически осажденных веществ, частичным изменением минерального состава в результате привноса новых веществ и другими процессами. Син. — окаменение.

ЛИТО... [гр. *lithos* — камень] — часть сложных слов, означающая отношение к камню, к горной породе.

ЛИТОГЕНЕЗ [лито... + ...генез] — совокупность природных процессов образования осадков, осадочных горных пород и последующих их изменений. См. *Седиментация*, *Диагенез*, *Катагенез*.

ЛИТОЛОГИЯ [лито... + ...логия] — наука о современных осадках и осадочных горных породах, их составе, строении, происхождении, закономерностях пространственного размещения.

ЛИТОМОНИТОРИНГ — частная форма мониторинга, основным объектом наблюдения и контроля которого является литосфера, происходящие в ней геологические процессы и возникающие при этом явления, в том числе и в результате деятельности человека.

ЛИТОРАЛЬ [гр. *litoralis* — береговой, прибрежный] — зона морского дна, затопляемая во время прилива и осушаемая во время отлива. Син. — литоральная зона.

ЛИТОСФЕРА [лито... + гр. *sphaire* — шар] — внешняя оболочка «твердой» Земли, включающая земную кору и часть верхней мантии Земли (субстрат).

ЛИТОСФЕРНЫЕ ПЛИТЫ — крупные (до нескольких тысяч километров в поперечнике) блоки земной коры, ограниченные со всех сторон сейсмически и тектонически активными зонами разломов; включают океаническую или континентальную и сопряженную с ней океаническую кору.

ЛОГ — овраг в равнинной местности с пологими, заросшими растительностью (задернованными) склонами и плоским дном; имеет небольшой водосборный бассейн.

...ЛОГИЯ [гр. *logos* — слово, понятие, учение] — вторая составная часть сложных слов, соответствующая по значению словам «наука», «учение», «знание».

ЛОЖБИНА — неглубокий овраг с пологими склонами.

ЛОЖЕ ЛЕДНИКА — поверхность, по которой движется ледник. См. *Ледники*.

ЛОПОЛИТ [гр. *lopas* — чаша, миска + ...*лит*] — геологическое тело, сложенное глубинными или полуглубинными магматическими горными породами, имеющее форму чаш (центральная часть опущена по отношению к краям).

ЛУЧЕВОЙ ВОДОЗАБОР — водозабор подземных вод, состоящий из шахтного колодца с радиально выходящими из него горизонтальными фильтрами.

ЛЬДИСТОСТЬ — отношение объема льда, содержащегося в грунте (горной породе), к объему всего грунта (горной породы).

ЛЯВА ВОЛНЫ [по имени англ. ученого А. Лява (A. Love)] — один из видов поверхностных сейсмических волн.

М

МАГМА [гр. *magma* — тесто, месиво, густая мазь] — расплавленная масса, преимущественно силикатного состава, богатая газами, образующаяся в глубинных зонах Земли. При внедрении М. в земную кору или при ее излиянии на поверхность образуются магматические горные породы.

МАГМАТИЗМ — совокупность процессов выплавления магмы, ее дальнейшего развития, перемещения в литосфере и излияния на поверхность земли, взаимодействия с твердыми горными породами и застывания. М. — одно из важнейших проявлений глубинной активности земли.

МАГНИТУДА [гр. *magnitude* — величина] — условная величина, характеризующая общую энергию упругих колебаний при землетрясениях и взрывах; относительная энергетическая характеристика очага землетрясения, пропорциональна выделившейся энергии. См. *Землетрясения*, *Рихтера шкала*.

МАКРОПОРЫ [гр. *makros* — большой, длинный + *poros* — отверстие] — крупные поры в грунтах, видимые невооруженным глазом.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ [гр. *makros* — большой, длинный + *poros* — отверстие + *seismos* — землетрясение] — колебания при землетрясениях верхней части литосферы, предметов, зданий, сооружений, непосредственно ощущаемые органами чувств человека. См. *Микросейсмы*.

МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ — обследование последствий землетрясения (повреждения или разрушения зданий и сооружений, сейсмические деформации поверхности и др.) и выявление поведения людей и предметов во время землетрясения с целью установления интенсивности колебаний (балльности) в различных точках (населенных пунктах) обследованной площади по шкале сейсмической интенсивности: по результатам М. о. строится карта изосейст. См. *Землетрясения*.

МАКСИМАЛЬНАЯ МОЛЕКУЛЯРНАЯ ВЛАГОЕМКОСТЬ — влажность грунта, соответствующая максимальной толщине пленок физически связанной воды. См. *Классификация воды*.

МАНТИЯ ЗЕМЛИ [гр. *mantion* — покрывало, плащ] — одна из оболочек Земли (геосфер), расположенная между земной корой и ядром. Верхняя граница М. з. проходит на глубине от 5—10 до 70 км по Мохоровичича поверхности, нижняя — на глубине 2900 км — по границе с ядром. М. з. составляет 83 % объема Земли (без атмосферы) и 67 % ее массы.

МАТЕРИК — крупный массив земной коры, большая часть которого выступает над уровнем Мирового океана, а периферия находится ниже его уровня. Для М. характерен континентальный тип строения земной коры: присутствие гранитного (гранитно-метаморфического) слоя; общая мощность 35—70 км. Син. — континент.

МАТЕРИКОВАЯ ОТМЕЛЬ — см. *Шельф*.

МАТЕРИНСКАЯ ГОРНАЯ ПОРОДА — исходная горная порода, в которой образуются другие горные породы.

МАССИВ [фр. *massif* — мощный, сплошной, от лат. *massa* — ком, кусок] — сравнительно слабо расчлененное и достаточно однородное по рассматриваемому признаку геологическое тело.

МЕАНДРЫ [по имени очень извилистой р. Меандр, ныне Большой Мендерес в Турции, Малая Азия] — изгибы (излучины) русла равнинных рек.

МЕДЛЕННЫЙ СДВИГ — способ испытания грунтов на прочность, при котором скорость проведения испытания такова, что плотность и влажность грунта, как правило, глинистого, успевает прийти в равновесие с действующей нагрузкой. Син. — дренированный сдвиг.

МЕЖЕНЬ — ежегодно повторяющееся сезонное стояние низких (меженных) уровней воды в реке. В умеренных и высоких широтах различают летнюю и зимнюю М.

МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ — промежуток времени, разделяющий любые две ледниковые эпохи четвертичного периода; характеризовался потеплением климата, освобождением умеренных широт от ледниковых покровов и появлением здесь теплолюбивых организмов. Син. — интергляциал.

МЕЖМЕРЗЛОТНЫЕ ВОДЫ — жидкие растворы в слоях, ограниченных сверху и снизу толщами (слоями) многолетнемерзлых горных пород (с отсутствием жидкой фазы). См. *Надмерзлотные, Подмерзлотные воды*.

МЕЖПЛАСТОВЫЕ ВОДЫ — водоносный горизонт, находящийся между двумя водоупорами. См. *Классификация подземных вод*.

МЕЗОЗОЙ [гр. *mesos* — средний + *zoe* — жизнь] — сокращенное название мезозойской эры и группы. См. *Геохронологическая шкала*.

МЕЛ — 1) сокращенное название меловой системы и периода. См. *Геохронологическая шкала*; 2) горная органогенная порода.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ — природные скопления минеральных веществ (полезных ископаемых), в том числе подземных вод, пригодных по количеству, качеству и условиям залегания для промышленной разработки.

МЕТАГЕНЕЗ [гр. *meta* — после, за, через + ...*генез*] — совокупность процессов преобразования осадочных горных пород. При их погружении в более глубокие горизонты литосферы в условиях повышающихся давления и температуры. М. наступает после диагенеза и предшествует метаморфизму.

МЕТАМОРФИЗМ [гр. *metamorphosis* — превращение, изменение] — процессы существенного (коренного) изменения структуры, текстуры и часто минерального (химического) состава горных пород под воздействием температуры, давления и активности глубинных растворов (флюидов). Различают контактовый, региональный и динамометаморфизм.

МЕТАСОМАТИЗМ [гр. *meta* — между, после, через + гр. *soma* — тело] — процессы постепенного замещения одних минералов горных пород другими под воздействием растворов высокой химической активности с существенным изменением химического состава, но с сохранением объема и твердого состояния горных пород.

МЕХАНИЧЕСКИЙ СОСТАВ — см. *Гранулометрический состав*.

МИГРАЦИЯ [лат. *migratio* — переселение] — в геологии перемещение вещества в пределах земной коры и на поверхности земли при различных геохимических процессах.

МИКРОСЕЙСМЫ [гр. *mikros* — малый + гр. *seismos* — землетрясение] — непрерывные, очень слабые синусоидальные колебания земной поверхности переменной амплитуды, вызванные атмосферными процессами, приливами и отливами морей, другими малоизученными причинами.

МИНДАЛИНЫ — названы по форме нахождения в природе, небольшие минеральные агрегаты, заполняющие пустоты в магматических излившихся горных породах, представлены большей частью хлоритом, опалом, халцедоном, кальцитом, кварцем.

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ВОДЫ — насыщение воды неорганическими (минеральными) веществами, находящимися в виде ионов и коллоидов. Суммарное содержание в воде минеральных веществ — общая М. в. — выражается в г/л или мг/л.

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА — превращение органического вещества в неорганические соединения как в процессе, осадконакопления, так и при диагенезе; часто протекает при активном участии бактерий.

МИНЕРАЛОГИЯ — наука о минералах, их составе, свойствах, особенностях и закономерностях физического строения, условиях образования, нахождения и изменения в природе, применении в хозяйстве.

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ — количественное содержание в горных породах различных минералов (иногда и обломков пород).

МИНЕРАЛЬНЫЕ ЧАСТИЦЫ — иногда употребляемое наименование твердой (минеральной) составляющей грунта.

МИНЕРАЛЫ [лат. *minera* — руда] — природные химические соединения или самородные элементы, образовавшиеся в результате естественных физико-химических процессов в земной коре, на поверхности Земли или прилегающих к ней оболочках; составная часть любых горных пород. По химическому составу М. подразделяют на классы само-

родных элементов: силикатов, оксидов и гидроксидов, карбонатов, сульфатов, фосфатов, галоидов, сульфидов.

МИОЦЕН [гр. *mein* — менее + *kainos* — новый] — сокращенное название нижнего отдела (эпохи) неогеновой системы (периода). См. *Геохронологическая шкала*.

МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ — см. *Вечная мерзлота*.

МОБИЛИЗМ [лат. *mobilis* — подвижный] — геологическая гипотеза, предполагающая большие (до тысяч километров) горизонтальные перемещения крупных литосферных плит, в том числе материков. Впервые обоснована А. Вегенером. Гипотеза, отрицающая М., получила название фиксизм.

МОДУЛЬ ПОДЗЕМНОГО СТОКА [лат. *modulus* — мера] — объем подземного стока в единицу времени с единицы площади подземного водосбора выражается (л/с)км², (м³/с)км².

МОНИТОРИНГ [лат. *monitor* — напоминающий, надзирающий] — общепланетарная система наблюдения и контроль за состоянием, качеством и изменением основных компонентов природной и техногенной сред.

МОНОКЛИНАЛЬ [гр. *monos* — один, единственный + *klino* — наклоняю] — форма залегания слоев горных пород с наклоном в одну сторону.

МОНОЛИТ [гр. *monos* — один + *...lithos*] — образец горной породы, отобранный из скважины или другой горной выработки без нарушения естественной структуры с целью последующего описания и определения физико-механических свойств. Для сохранения естественной влажности, структуры, текстуры М. заключают в марлевую, парафиновую оболочку, металлический или картонный стакан.

МОРЕ — часть Мирового океана, обособленная сушей или возвышениями подводного рельефа и отличающаяся от открытой части океана гидрологическим и метеорологическим режимами.

МОРЕНЫ [фр. *moraines*] — скопления несортированного обломочного материала (от крупных валунов до суглинков), перемещаемого ледниками или отложенного ими при таянии.

МОРОЗОСТОЙКОСТЬ — способность горных пород в увлажненном состоянии выдерживать без признаков разрушения или значительного снижения прочности многократное переменное замораживание и оттаивание.

МОРСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ — осадочные и вулканогенно-осадочные горные породы, образовавшиеся на дне морей и океанов (глины, известняки-ракушечники, доломиты, песчаники и др.). Отложения, образующиеся в современных морях и океанах, еще не превратившиеся в горные породы, носят название морских осадков.

МОХОРОВИЧИЧА ПОВЕРХНОСТЬ [по фамилии югославского сейсмолога А. Мохоровичича, открывшего эту поверхность в 1909 г.] — поверхность раздела между земной корой и мантией Земли. Скорость продольных сейсмических волн при переходе от земной коры к мантии через М. п. скачкообразно возрастает с 6,7—7,6 до 7,9—8,2 км/с, а плот-

ность горных пород — с 2,9—3,0 до 3,1—3,5 т/м³. Син. — граница Моховичича, поверхность Мохо.

МОЧАЖИНА — влажное, заболоченное, топкое место на низменном лугу между кочками на болоте. Образуется в местах выхода на поверхность грунтовых вод или верховодки при отсутствии стока.

МОЩНОСТЬ СЛОЯ (ПЛАСТА) — кратчайшее расстояние между ограничивающими слой сверху и снизу поверхностями: кровлей и подошвой.

МУЛЬДА [нем. *Mulde* — корыто] — общее название пологих изометрических или плавных тектонических прогибов (или их нижних частей), имеющих форму чаши. Например, М. синклинали.

Н

НАВОДНЕНИЕ — значительное затопление водой местности в результате подъема уровня воды в реке, озере или море, вызываемого обильным притоком воды в период снеготаяния или ливней, ветровых нагонов воды, при возникновении различных препятствий в реках.

НАБУХАНИЕ — увеличение объема грунта (горной породы) вследствие поглощения из окружающей среды жидкости или паров воды. Н. происходит в результате расклинивающего действия образующихся на поверхности частиц или утолщающихся пленок связанной воды, а также за счет увеличения объема некоторых минералов при их гидратации (монтмориллонит, ангидрит). Свойством Н. обладают главным образом глинистые грунты. Величина Н. зависит от структуры грунта, действующего давления, дисперсности частиц, степени влажности, вида и количества солей и характеризуется следующими показателями: величиной свободного Н. (относительное увеличение высоты образца при полном водонасыщении без возможности бокового расширения и отсутствии вертикального давления), величиной Н. при различных давлениях на образец, давлением Н. (давление, при котором образец грунта, находящийся в кольце, не набухает), влажностью Н. (влажность набухшего образца) и плотностью набухшего грунта. См. *Усадка*.

НАГОРЬЕ — обширный по площади участок земной поверхности, являющийся сочетанием плоскогорий, горных хребтов и массивов, иногда чередующихся с широкими плоскими котловинами и в целом расположенный на высоко поднятом нерасчлененном доколе.

НАДВИГ — форма разрывного нарушения, при которой одни массы горной породы надвинуты на другие по наклонной (иногда близкой к горизонтальной) поверхности разлома (сместителя).

НАДМЕРЗЛОТНЫЕ ВОДЫ — подземные воды, распространенные над поверхностью многолетнемерзлых горных пород; последние в большинстве случаев являются нижним водоупором для этого типа вод. По условиям залегания и режиму Н. в. подразделяются на сезоннопромерзающие, сезоннополупромерзающие. См. *Межмерзлотные воды*.

НАНОСЫ — 1) общее название рыхлых четвертичных отложений (песок, гравий, глина и др.), покрывающих коренные горные породы

вне зависимости от их происхождения; 2) твердый материал, переносимый (или влекомый по дну) водными потоками, а затем отложенный.

НАПОР — давление воды, выраженное высотой водяного столба над рассматриваемой плоскостью сравнения. Для грунтовых вод часто за плоскость сравнения принимается нулевая абсолютная или относительная отметка, а для напорных вод — подошва верхнего водоупора.

НАПОРНЫЕ ВОДЫ — межпластовые воды, уровень которых при вскрытии скважиной (горной выработкой) верхнего водоупора устанавливается выше его подошвы. Если уровень воды установится выше поверхности земли, скважина будет фонтанировать. Син. — артезианские воды. См. *Пьезометрический уровень. Классификация подземных вод.*

НАПОРНЫЙ ГРАДИЕНТ — см. *Гидравлический градиент.*

НЕДОСТАТОК НАСЫЩЕНИЯ — разность между полной влагоемкостью и естественной влажностью горной породы (грунта).

НЕОГЕН [гр. *neos* — новый + ...ген] — сокращенное название неогеновой системы и периода; подразделяется на миоцен и плиоцен. См. *Геохронологическая шкала.*

НЕОТЕКТОНИКА [гр. *neos* — новый + *тектоника*] — раздел тектоники, изучающий тектонические процессы, проявившиеся в кайнозойскую эру (главным образом с конца неогена) и обусловившие основные черты современного рельефа. Син. — новейшая тектоника.

НЕСКАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ — класс грунтов без жестких структурных связей (крупнообломочные, песчаные, глинистые, пылеватые, илистые, заторфованные, искусственные).

НЕСТЕРОВА МЕТОД [назван по имени его автора Н.С. Нестерова] — один из методов определения коэффициента фильтрации грунтов в полевых условиях с поверхности Земли или в шурфе при малой влажности исследуемых грунтов путем налива воды.

НЕФТЬ [перс. нефт] — маслянистая жидкость, одно из важнейших полезных ископаемых, состоящее преимущественно из углеводородов метанового, нафтенового и ароматического рядов с примесью сернистых, азотистых и кислородных соединений. Встречается в толщах осадочных горных пород, образуя промышленные месторождения.

НИЗМЕННОСТЬ — равнинные участки земной поверхности с абсолютной высотой не более 200 м.

НООСФЕРА [гр. *noos* — разум + *sphaire* — шар] — сфера взаимодействия природы и общества, в пределах которой разумная человеческая деятельность становится главным, определяющим фактором развития, крупнейшей силой, воздействующей на литосферу, атмосферу, биосферу, сопоставимой с природными, в том числе геологическими, процессами.

О

ОБВАЛ — отчленение от основного массива на крутом склоне или откосе блоков, глыб или обломков горных пород, их быстрое перемещение под действием сил гравитации, сопровождающееся падением, опрокидыванием, скатыванием, раскалыванием.

ОБЛАСТЬ ДРЕНИРОВАНИЯ — территория, в пределах которой подземные воды данного водоносного горизонта выходят на поверхность земли или впадают в поверхностные водоемы или водотоки. Син. — область разгрузки подземных вод.

ОБЛАСТЬ ПИТАНИЯ — территория, в пределах которой происходит пополнение запасов подземных вод данного водоносного горизонта, в частности, за счет инфильтрации атмосферных осадков и вод поверхностных водоемов и водотоков.

ОБЛАСТЬ РАЗГРУЗКИ — см. *Область дренирования*.

ОБНАЖЕНИЕ — выход на земную поверхность горных пород, залегающих ниже поверхностных слоев. О. могут быть естественными (например, эрозионные речные врезы) и искусственные (в карьерах, туннелях, котлованах).

ОБРАЗЕЦ — кусок горной породы (минерала) или окаменевших остатков организмов, взятый для лабораторного изучения изображения или горной выработки.

ОБРЫВ — крутой склон, близкий к вертикальному.

ОБСАДКА СКВАЖИНЫ — закрепление стенок скважины буровыми трубами. О. с. проводится также для разобшения пройденных скважиной водоносных горизонтов.

ОВРАГ — глубокий крутосклонный размыв, часто сильно разветвленный, образованный деятельностью временного водотока.

ОДОМЕТР — лабораторный прибор для определения сжимаемости грунта без возможности его бокового расширения. Составная часть компрессионных приборов. См. *Компрессионные испытания*.

ОЗЕРА — природные водоемы в замкнутых углублениях суши (котловинах). По происхождению котловин О. делятся на тектонические ледниковые, речные (старицы), приморские (лагуны, лиманы), провальные (карстовые, термокарстовые), вулканические (в кратерах потухших вулканов), завально-запрудные; по водному балансу — на сточные и бессточные; по общей минерализации воды — на пресные и минеральные.

ОЗЕРНО-ЛЕДНИКОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ — осадки, принесенные тальми водами ледников и отложенные в приледниковых озерах, а также горные породы, из них образовавшиеся. Представлены главным образом ленточными глинами и (в береговой зоне) тонкослоистыми песками, супесями и суглинками, цикличная слоистость которых связана с сезонностью таяния ледников. Син. — лимногляциальные отложения.

ОЗЕРНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ — отложения на дне современных или существовавших в прошлые геологические эпохи озер и горные породы, из них образовавшиеся. Представлены главным образом глинистыми осадками, сапропелем, диатомитом в пресноводных озерах; глинистыми осадками, карбонатами, илом, сульфатами, хлоридами — в соленых.

ОЗОН — нестабильная модификация кислорода, состоящая из трех его атомов. О. — голубоватый газ с характерным запахом, сильный

окислитель, ядовит. О. имеет способность к абсорбции инфракрасных и ультрафиолетовых лучей, проникающих в атмосферу.

ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ — часть атмосферы, находящаяся на высоте 20—50 км от поверхности Земли, которая содержит озон, образовавшийся в результате воздействия на кислород воздуха ультрафиолетового излучения, солнечной радиации, электрических разрядов. О. с. играет важную роль в создании существующей температуры в атмосфере, так как препятствует проникновению различного рода излучений как к Земле, так и от нее.

ОЗОНОВЫЙ ЭКРАН — слой земной атмосферы, насыщенный озоном и исполняющий роль экрана, отражающего жесткое космическое излучение, а также тепловое излучение Земли. Глобальное загрязнение атмосферы серьезно нарушает структуру и функционирование О. э. Син. — Озоновый слой.

ОЗЫ [швед. *asar* — гряды, хребты] — валообразные извилистые гряды высотой до нескольких десятков метров, шириной от 100 м до 2 км, длиной (с небольшими перерывами) до нескольких десятков и даже сотен километров. Образовались в результате отложения песка, гальки, гравия, валунов потоками талых вод, протекающими по промытым в теле ледника долинам и туннелям.

ОКАМЕНЕЛОСТИ — ископаемые остатки растений и животных прошлых геологических эпох или следы их жизнедеятельности, сохранившиеся в осадочных горных породах. По О. определяют относительный возраст тех горных пород, в которых они обнаружены.

ОКАМЕНЕНИЕ — процесс замещения органических веществ в погребенных остатках животных и растений минеральными веществами, в результате чего эти остатки превращаются с течением времени в окаменелости.

ОКЕАН [гр. *ōkeanós* — большая река, охватывающая Землю] — водная оболочка земного шара, разделяющая сушу на континенты и острова; Мировой О. — глобальная совокупность всех морей и океанов. Площадь Мирового О. — 361 059 км², общий объем — 1370 млн км³.

ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА — совокупность природной и техногенной сред, прямо или косвенно обеспечивающая возможность существования человека и человеческого общества.

ОЛЕДЕНЕНИЕ — 1) совокупность длительно существующих природных льдов (главным образом ледников); 2) процесс значительного расширения площади ледников, связанный с изменением климата.

ОПЛЫВИНА — гравитационное смещение вниз по склону или откосу поверхностного маломощного слоя горных пород (до глубины 1—2 м) вследствие их перехода в текучее состояние при насыщении дождевыми, тальными или подземными водами; разновидность небольшого по объему оползня.

ОПОЛЗЕНЬ — масса горной породы, сползшая или сползающая вниз по склону или откосу под действием гравитации на более низкий гипсометрический уровень без потери контакта со склоном. Возникновению О. могут способствовать обводнение горных пород на склоне, подрезка склона, дополнительная динамическая нагрузка (землетрясе-

ния, взрывы), гидродинамическое давление и т. д. Существует много классификаций оползней по различным признакам. Так, по механизму протекания процесса выделяют О. скольжения, выдавливания, оплывания, проседания, течения, разжижения. См. *Асеквентный, Деляпсивный, Детрузивный, Инсеквентный, Консеквентный О.*

ОПРОБОВАНИЕ — система технологических операций, обеспечивающая получение информации о составе и свойствах исследуемых инженерно-геологических элементов или о качестве полезного ископаемого. О. включает отбор проб, их консервацию, лабораторные исследования, полевые испытания (без отбора проб), обработку полученных данных.

ОПЫТНЫЕ ОТКАЧКИ — кратковременная откачка воды из горных выработок (водозаборов) с целью определения коэффициента фильтрации горных пород, слагающих водоносный пласт, радиуса влияния, установления зависимости дебита воды от понижения урвня.

ОРДОВИК [лат. *Ordovices* — название кельтского племени, обитавшего в Уэльсе во времена Римской империи] — сокращенное название ордовикской системы и периода. См. *Геохронологическая шкала.*

ОРОГЕН [гр. *oros* — гора + ...*gen*] — горно-складчатое сооружение, возникшее на месте геосинклинали в поздние стадии ее эволюции. Например, Кавказский О.

ОРОГЕНЕЗ [гр. *oros* — гора + ...*генез*] — 1) горообразование; 2) совокупность интенсивных восходящих вертикальных тектонических движений, складчатости, разрывов.

ОСАДКИ АТМОСФЕРНЫЕ — вода в текучем или твердом состоянии, падающая на земную поверхность из воздуха в виде дождя, снега, тумана и града. К О. а. относятся также роса, изморозь, гололед. Осадки содержат наиболее чистую воду, близкую к дистиллированной.

ОСАДКОНАКОПЛЕНИЕ — образование любых видов отложений на поверхности земли при переходе осаждаемого вещества из подвижного, взвешенного или растворенного состояния (в водной или воздушной среде) в неподвижное — осадок (начальная стадия образования горной породы). Син. — седиментация.

ОСАДОЧНЫЙ ЧЕХОЛ — слои осадочных, реже вулканогенных горных пород, залегающие почти горизонтально на складчатом фундаменте из древних и молодых платформ. Син. — платформенный чехол.

ОСОВ — быстрое поверхностное смещение на крутом склоне щебенисто-глыбового или песчаного материала при отсутствии четко выраженной поверхности скольжения. Основные причины, вызывающие О., — насыщение обломочного материала водой, динамические воздействия (в том числе землетрясение), дополнительная пригрузка (в том числе за счет осыпей с вышележащих частей склона), подмыв или подрезка склона.

ОСЫПЬ — 1) перемещение вниз по склону под действием силы тяжести мелких обломков, отчлененных от массива горных пород в результате выветривания; 2) скопление массы мелких обломков у подножия или на пологих участках склона. В горных областях О. могут образовывать конусы и сплошные шлейфы мощностью 10 м и более.

Различают действующие (постоянно или периодически перемещающиеся), полужакрепленные и закрепленные О.

ОТВАЛ — насыпь, образованная горной породой вскрыши или некондиционным полезным ископаемым (при разработке карьеров полезных ископаемых), отходами производства, строительным мусором.

ОТДЕЛ — единица общей стратиграфической шкалы, наиболее крупное подразделение геологической системы; объединяет отложения, образовавшиеся в течение геологической эпохи, подразделяется на ярусы. См. *Геохронологическая шкала*.

ОТДЕЛЬНОСТЬ — характерная форма блоков глыб или обломков, образующихся при выветривании или раскалывании горных пород.

ОТХОДЫ — материалы, вещества (жидкие, твердые или газообразные) или энергия от промышленности, сельского и коммунального хозяйств, которые поступают в окружающую среду. Они не могут быть использованы напрямую. О. являются главными загрязнителями окружающей среды. При комплексном использовании О. могут быть дополнительным источником сырья, материалов и энергии в производстве той или другой хозяйственной деятельности человека.

ОХРАНА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ — комплекс законов и мероприятий, устраняющих или локализующих развитие в геологической среде неблагоприятных для человека и природы процессов и явлений, а также рациональное использование ее человеком.

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ — комплекс законов и мероприятий, обеспечивающих существование и развитие окружающей среды без неблагоприятных для биосферы, человека и человеческого общества процессов и явлений.

ОХРАНА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ — комплекс законов и мероприятий, обеспечивающих существование и развитие природной среды без неблагоприятных для нее процессов и явлений, а также рационального ее использования.

ОЧАГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ — область в литосфере, окружающая гипоцентр.

П

ПАВОДОК — сравнительно кратковременное и непериодическое поднятие уровня воды в реке, возникающее в результате быстрого таяния снега или ледников при оттепели, выпадении обильных дождей. Следующие один за другим П. могут образовать половодье, а значительное половодье может вызвать наводнение.

ПАДЕНИЕ — направление и угол максимального наклона плоскости геологического тела (слоя, пласта, поверхности разрыва и др.) к горизонту; один из элементов залегания геологических тел. См. *Прогитрование*.

ПАДЬ — долина ручья или небольшой реки; распадки — ее разветвления.

ПАЛЕОГЕН [гр. *palaios* — древний + ...ген] — сокращенное название палеогеновой системы и периода, самых древних в кайнозойской группе и эре. См. *Геохронологическая шкала*.

ПАЛЕОЗОЙ [гр. *palaios* — древний + *zoe* — жизнь] — сокращенное название палеозойской группы и эры. В отложениях П. встречаются ископаемые остатки самой древней фауны и флоры.

ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД [гр. *palaios* — древний + *on* (*ontos*) сущее + ...логия; *methodos* — исследование] — метод определения относительного возраста осадочных горных пород по сохранившимся в них ископаемым остаткам растений (флоры) и животных (фауны).

ПАЧКА — совокупность слоев, характеризующаяся общностью состава, возраста или какого-либо другого признака.

ПЕНЕПЛЕН [лат. *paene* — почти + *plain* — равнина] — выровненный или слабо всхолмленный участок суши, образовавшийся в результате очень длительного разрушения горной страны экзогенными геологическими процессами в условиях относительного тектонического покоя.

ПЕНЕТРАЦИЯ [лат. *penetrara* — проникать] — метод получения информации о свойствах грунта по результатам статического вдавливания в грунт конического наконечника на глубину, не превышающую высоты конуса. См. *Зондирование*.

ПЕРЕЛЕТКИ — сезонно-мерзлые горные породы, не успевшие оттаять летом.

ПЕРИКЛИНАЛЬ [гр. *peri* — вокруг, кругом, около + ... *klino* — гну, наклоняю] — залегание осадочных горных пород, при котором слои наклонены в разные стороны (в определенных пределах) от центральной точки или линии. Такое залегание характерно для мест погружения (окончания) антиклиналей и для куполовидных структур. Син. — периклинальное окончание складки.

ПЕРЕСЫПЬ — полоса суши, сложенная наносами, соединяющаяся с берегом и отдаляющая лагуну или лиман от моря.

ПЕРИОД [гр. *periodos* — обход, круговращение] — единица второго порядка единой геохронологической шкалы, часть эры; отрезок геологического времени, в течение которого образовались горные породы, составляющие геологическую систему. См. *Геохронологическая шкала*.

ПЕРМЬ [по названию г. Пермь, РФ] — сокращенное название пермской системы и периода. См. *Геохронологическая шкала*.

ПЕТРОГРАФИЯ [гр. *petra* — скала, камень + *grapho* — пишу] — см. *Петрология*.

ПЕТРОЛОГИЯ [гр. *petra* — скала + ...логия] — наука о горных породах, их минеральном и химическом составе, структуре, текстуре, условиях залегания. Некоторые исследователи считают, что описательной частью науки о горных породах занимается петрография.

ПЕЩЕРЫ — подземные полости больших размеров, сообщающиеся с поверхностью земли одним или несколькими отверстиями. Образуются в результате выщелачивания и размыва подземными водами известняков, доломитов, гипсов и других легко- и среднерастворимых горных пород. Изучением П. занимается наука спелеология.

ПИКНОМЕТР [гр. *pyknos* — плотный + *metreo* — измеряю] — стеклянный сосуд с узким длинным горлом, используемый для определения плотности частиц горных пород и грунтов.

ПЛАСТ — геологическое тело, сложенное осадочными или метаморфическими горными породами, имеющее плоскую форму (мощность во много раз меньше площади его распространения), две близкие к параллельным поверхности напластования (подошву и кровлю), примerno однородный состав.

ПЛАСТИЧНОСТЬ [гр. *plastikos* — годный для лепки, податливый] — свойство горных пород и грунтов изменять свои размеры и форму без разрыва сплошности материала, т. е. пластично деформироваться под действием внешних нагрузок и сохранять новую форму после снятия нагрузки.

ПЛАТО [фр. *plateau* — плато, от лат. *plat* — плоский] — возвышенная равнина, ограниченная четко выраженными уступами.

ПЛАТФОРМА [фр. *plate* + *forme* — плоская форма] — одна из основных структур земной коры, характеризующаяся малой интенсивностью новейших тектонических движений и имеющая двухъярусное строение: нижний ярус (фундамент), сложенный комплексом сильно метаморфизованных осадочных и пронизывающих их магматических горных пород, смятых в складки; верхний ярус (платформенный чехол), сложенный горизонтально залегающими осадочными, реже вулканогенными горными породами. В пределах П. выделяются щиты, где складчатый фундамент выступает на поверхность, и плиты, в которых фундамент погружен на глубину.

ПЛАТФОРМЕННЫЙ ЧЕХОЛ — см. *Осадочный чехол*.

ПЛЕЙСТОСЕЙСОВАЯ ОБЛАСТЬ [гр. *pleistos* — наибольший + *seistos* — сотрясенный] — область максимальных сотрясений, вызванных землетрясением; в центральной части этой области находится эпицентр землетрясения.

ПЛЕЙСТОЦЕН [гр. *pleistos* — наибольший + *kainos* — новый] характеризуется появлением относительно большого количества новых форм жизни — нижний отдел, соответствующий наиболее длительной эпохе четвертичного периода. Включает ниже-, средне- и верхнечетвертичные отложения. Характеризуется общим похолоданием климата Земли и периодическим возникновением в средних широтах обширных материковых оледенений.

ПЛЁС — участок русла реки, более глубокий по сравнению с выше- и нижерасположенными.

ПЛИТА — см. *Платформа*.

ПЛОЙЧАТОСТЬ [фр. *ployer* — сгибать, складывать] — очень мелкая складчатость, возникающая в плотных слоях осадочных и метаморфических горных пород при высоких давлениях.

ПЛОСКОГОРЬЕ — обширная плосковершинная возвышенность, сложенная горизонтально залегающими или слабодислоцированными горными породами. Внутри П. могут быть значительные неровности (впадины, поднятия), ограниченные четко выраженными уступами. От-

личается от плато значительными абсолютными высотами (до 1000 м и более) и поэтому имеет более глубокие врезы.

ПЛОТНОСТЬ ГРУНТА — отношение массы грунта, включая массу воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему.

ПЛОТНОСТЬ СУХОГО ГРУНТА — отношение массы сухого грунта к объему, занимаемому этим грунтом (включая поры).

ПЛОТНОСТЬ ЧАСТИЦ ГРУНТА — отношение массы сухого грунта к объему его твердой части.

ПЛЫВУНЫ — водонасыщенные пески, супеси и другие рыхлые отложения, способные переходить в текучее состояние при движении воды или механических воздействиях.

ПЛЯЖ [фр. *plage* — отлогий морской берег] — отлогий намывной берег моря, озера, реки, океана.

ПОБЕРЕЖЬЕ — полоса земной поверхности по обе стороны береговой линии моря, океана или озера со следами современных или древних форм рельефа водного происхождения.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДЫ — воды, находящиеся на земной поверхности в водоемах и водотоках.

ПОВЕРХНОСТЬ СКОЛЬЖЕНИЯ — поверхность, по которой происходит или происходило смещение массы горных пород во время оползня.

ПОГЛОЩАЮЩИЙ КОЛОДЕЦ (СКВАЖИНА) — горная выработка, служащая для сброса поверхностных или вышележащих подземных вод в нижележащие водоносные горизонты или водопроницаемые слои.

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ — капельно-жидкие воды, находящиеся в порах и пустотах горных пород, способные к перемещению в них и вытеканию или извлечению из них. Подразделяются по условиям залегания на верховодку, грунтовые и межпластовые.

ПОДМЕРЗЛОТНЫЕ ВОДЫ — водные растворы, залегающие ниже подошвы многолетнемерзлых горных пород. Подразделяются на контактирующие, для которых многолетнемерзлая толща является верхним водоупором, и неконтактирующие, которые с многолетнемерзлой толщей непосредственно не соприкасаются.

ПОДОШВА СЛОЯ — нижняя поверхность слоя.

ПОДПОР — подъем уровня воды, возникающий вследствие преграждения или стеснения русла водотока или изменения условий стока подземных вод.

ПОДТОПЛЕНИЕ — подъем уровня грунтовых вод, вызванный повышением уровня воды в реках при сооружении водохранилищ, потерями воды из оросительных систем и инженерных коммуникаций, изменением естественных режимобразующих факторов, застройкой территории.

ПОЙМА, ПОЙМЕННАЯ ТЕРРАСА — часть дна речной долины, затопляемая только в половодье и поднятая над меженным уровнем.

ПОКАЗАТЕЛЬ КОНСИСТЕНЦИИ [лат. *consistere* — состоять] — показатель состояния (подвижности) грунта нарушенной структуры при определенной влажности. Равен отношению разности естественной

влажности и влажности на границе пластичности к числу пластичности. Син. — показатель текучести.

ПОКРОВ ЛАВОВЫЙ — форма залегания излившихся магматических горных пород, имеющая значительную площадь (при длине и ширине одного порядка) и относительно малую мощность.

ПОЛЕЗНОЕ ИСКОПАЕМОЕ — минеральное образование в литосфере, которое может быть использовано человеком в хозяйственной деятельности. К П. и. относятся горные породы (как строительные материалы), различные руды, из которых извлекают элементы (в том числе металлы и промышленные минералы) и минералы (например, алмаз, асбест и др.). Выделяют твердые, жидкие и газообразные П. и.

ПОЛНАЯ ВЛАГОЕМКОСТЬ — влажность грунта, соответствующая полному заполнению пор водой.

ПОЛНОКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ ГОРНАЯ ПОРОДА — магматическая горная порода без стекла, не обладающая порфировой структурой.

ПОЛОВОДЬЕ — ежегодно повторяющееся в один и тот же сезон относительно длительное увеличение водности реки, вызывающее подъем ее уровня: обычно сопровождается выходом воды из меженного уровня и затоплением поймы.

ПОЛОСЧАТАЯ ТЕКСТУРА — вид текстуры горной породы с расположением ее составных частей полосами, различающимися по составу и цвету.

ПОЛУСКАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ — грунты с жесткими кристаллизационными или цементационными связями, имеющие предел прочности при одноосном сжатии в водонасыщенном состоянии менее 5 МПа.

ПОНОРЫ [серб., ед. ч. — понор] — трещины или отверстия в карстовой воронке, полости или на поверхности земли, через которые вода может поступать в карстующийся массив. См. *Карст*.

ПОРИСТОСТЬ — отношение объема пор к объему всего грунта, включая поры.

ПОРОГ — короткий участок реки с относительно большой скоростью течения, обусловленной положительной неровностью русла. Образуется в местах выхода на поверхность трудноразмываемых горных пород или при тектонических нарушениях.

ПОРЫ — небольшие, вплоть до микроскопических размеров, пустоты в горной породе.

ПОСЛЕЛЕДНИКОВАЯ ЭПОХА — часть четвертичного периода кайнозойской эры, отсчитываемая со времени последнего оледенения.

ПОТОК ГРУНТОВЫЙ — грунтовые воды, движущиеся под влиянием силы тяжести в направлении уклона их зеркала.

ПОТОК ЛАВОВЫЙ — форма залегания магматических излившихся горных пород, характеризующаяся значительной длиной при относительно небольшой ширине.

ПОТОК ПОДЗЕМНЫХ ВОД — подземные воды, движущиеся под действием силы тяжести или разности напоров в направлении уклона поверхности безнапорных вод или уклона условной напорной поверхности артезианских вод.

ПОЧВА — природное образование, состоящее из генетически связанных горизонтов, формирующихся в результате преобразования поверхностных слоев литосферы под воздействием воды, воздуха, живых организмов, растительности и обладающее плодородием (способностью обеспечивать растения и микроорганизмы водой, пищей, минеральными солями для воспроизводства биомассы).

ПРЕДГОРЬЯ — окраины горных стран и хребтов с холмистым или низкорогным рельефом.

ПРЕДЕЛ ПЛАСТИЧНОСТИ — см. *Граница пластичности*.

ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ — величина, характеризующая значение внешней нагрузки, при которой происходит разрушение образца скальной породы.

ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ — см. *Граница текучести*.

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ (ПДК) — минимальная концентрация, при которой проявляются ядовитые свойства отравляющего вещества. ПДК для воды — это концентрация данного вещества в воде, при которой она становится непригодной для одного или нескольких видов использования.

ПРЕСНЫЕ ВОДЫ — природные воды с минерализацией менее 1 г/л.

ПРЕССИОМЕТРИЯ [лат. *pressure* — давить, жать + *metreo* — измеряю] — полевой метод оценки деформационных и прочностных свойств песчаных, глинистых и скальных грунтов, вскрытых в стенках буровых скважин, путем приложения к ним давления (через камеру с эластичными стенками, заполненную жидкостью) и измерения деформаций.

ПРЕССИОМЕТР — прибор для определения прочности и сжимаемости грунтов (горных пород) в стенках буровой скважины путем нагнетания жидкости или газа в камеру с эластичными стенками, передающую давление на грунт. См. *Прессиометрия*.

ПРИРОДНАЯ СИСТЕМА — совокупность природной среды и обитающих в ней живых организмов.

ПРИРОДНАЯ СРЕДА — глобальная система, представляющая собой совокупность атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы со всеми происшедшими и происходящими в них изменениями, в том числе и в результате жизнедеятельности человека.

ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СРЕДА — совокупность атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы, используемая для хозяйственной деятельности человека.

ПРИРОДНОЕ (бытовое) ДАВЛЕНИЕ — величина давления в грунте, зависящая от плотности грунта и глубины его залегания.

ПРИТОК — 1) водоток, впадающий в более крупный водоток или озеро; 2) поступающий в какой-либо водоем объем воды по поверхности земли или по порам и пустотам в ее недрах.

ПРОБА (грунта, горной породы, воды) — определенное количество минерального вещества и т. п., отобранное для лабораторных исследований.

ПРОБНАЯ ОТКАЧКА — кратковременная откачка воды из скважин или колодцев, производимая с целью предварительной оценки гидрогеологических параметров водоносного горизонта и качества воды.

ПРОБООТБОРНИК — прибор для отбора проб грунта, воды или монолитов грунта.

ПРОВАЛ — отрицательная форма земной поверхности, образовавшаяся в результате нарушения кровли подземной полости.

ПРОГИБ — опущенный или прогнутый участок земной коры, vyplненный осадочными, осадочно-вулканогенными или вулканогенными горными породами.

ПРОГНОЗ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ [гр. *prognosis* — предвидение, предсказание] — предсказание хода изменения инженерно-геологических условий, возникновения, продолжения или прекращения в будущем природных или инженерно-геологических процессов с учетом природных и техногенных факторов.

ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕМЕЛЬ — скорость создания живого вещества на тех или иных естественных или обрабатываемых человеком участках земли.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОЛОДЦА (СКВАЖИНЫ) — см. *Дебит*.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПОТОКА — количество воды, протекающее через поперечное сечение потока подземных вод в единицу времени. Син. — Расход потока.

ПРОЛЮВИЙ, ПРОЛЮВИАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ [лат. *proluo* — выношу течением] — продукты разрушения горных пород, выносимые временными водными потоками (сели и др.) к подножию возвышенности или на пологие участки склонов и межгорных равнин. П. составляет конусы выноса и образует при их слиянии пролювиальные шлейфы.

ПРОСАДКА — дополнительная вертикальная деформация грунта (часто значительная по величине и быстро протекающая во времени), находящегося в напряженном состоянии под действием внешних нагрузок или собственного веса, происходящая при замачивании лессов и лессовидных грунтов, оттаивании мерзлых грунтов, сотрясениях песчаных грунтов, вызванных динамическими воздействиями и вибрацией.

ПРОСАДОЧНОСТЬ — свойство некоторых видов грунтов уменьшать свой объем без изменения давления и давать просадку при определенных условиях. Если комплекс необходимых условий отсутствует, то свойство П. не проявляется.

ПРОСТИРАНИЕ — направление горизонтальной линии на поверхности геологического тела (слоя, жилы и т. п.). См. *Падение*.

ПРОТЕРОЗОЙ [гр. *proteros* — первый из двух, более ранний + *zoe* — жизнь] — верхнее подразделение докемрия, позже архея, сокращенное название протерозойской группы и эры. См. *Геохронологическая шкала*.

ПРОФИЛЬ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ [фр. *profil* — вид сбоку] — см. *Разрез геологический*.

ПРОЦЕСС [лат. *processus* — продвижение] — последовательная смена явлений в развитии каких-либо геологических образований.

ПРОЦЕССЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ — движение, изменение геологической среды во времени, фиксируемое как изменение элементов среды, их структуры и свойств. П. г. обуславливают геологическое развитие Земли; подразделяются на эндогенные и экзогенные. Син. — природные геологические процессы.

ПРОЦЕССЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ — движение, изменение геологической среды во времени, обусловленное в значительной степени прямым или косвенным взаимодействием человека и результатом его деятельности с геологической средой.

ПРУД — искусственный водоем, созданный для орошения, разведения рыбы и водоплавающей птицы, хранения воды, проведения спортивных и оздоровительных мероприятий и других целей. Площадь П. обычно не превышает 1 км².

ПУЧЕНИЕ — деформация поверхности, связанная с увеличением объема глинистых грунтов при увлажнении или промерзании. П. может возникать также при выдавливании (выпирании) под действием нагрузки любых видов нескальных грунтов.

ПЫЛЕВАТОСТЬ — иногда употребляемая характеристика содержания в рыхлых горных породах пылеватых частиц.

ПЬЕЗОИЗОГИПСЫ [гр. *piezo* — давлению + *isos* — равный + *hypsos* — высота] — см. *Гидроизогипсы*.

ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКАЯ ПОВЕРХНОСТЬ — условная поверхность напорных вод. Каждая точка П. п. показывает уровень поднятия напорных вод при вскрытии верхнего водоупора горной выработкой.

ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ — след от пересечения пьезометрической поверхности вертикальной плоскостью.

Р

РАВНИНЫ — участки поверхности суши, дна морей и океанов, характеризующиеся незначительными колебаниями высот и малыми уклонами. Различают денудационные Р., образовавшиеся в результате разрушения возвышенных форм рельефа, и аккумулятивные Р., возникшие в результате накопления мощных толщ осадочных горных пород. По структурному принципу выделяют Р. платформенных и горных (орогенных) областей (главным образом межгорных и предгорных прогибов).

РАДИУС ВЛИЯНИЯ [лат. *radius* — луч] — расстояние от водозабора до границы зоны, в пределах которой произошло понижение напора подземных вод при откачке.

РАЗВЕВАНИЕ — снос, перенос и перекачивание ветром продуктов выветривания горных пород и мелких обломков. См. *Дефляция*.

РАЗВЕТКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ — комплекс работ при инженерно-геологических изысканиях на участках под проектируемые здания (сооружения), направленный на получение необходимой и

достаточной инженерно-геологической информации для разработки рабочей документации, включая обоснование и расчеты подземной части природно-технической системы, инженерной защиты территории, проекта производства земляных работ, охраны геологической среды. При Р. и.-г. обязательно производится выделение инженерно-геологических элементов, установление для них нормативных и расчетных характеристик показателей свойств, уточнение динамики геологических процессов. Итоговые документы: отчет (заключение), разрезы инженерно-геологические по основным направлениям, таблицы нормативных и расчетных характеристик грунтов. См. *Рекогносцировка инженерно-геологическая. Съемка инженерно-геологическая.*

РАЗЛОМ — крупная разрывная дислокация земной коры, имеющая значительную длину и глубину; обычно наблюдается между разнородными тектоническими структурами.

РАЗМЫВ — процесс разрушения горных пород и удаления продуктов разрушения водными потоками или волнами.

РАЗМЯГЧАЕМОСТЬ — уменьшение прочности скальных грунтов при водонасыщении. Численно характеризуется коэффициентом размягчаемости.

РАЗРЕЗ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ — графическая модель вертикального сечения литосферы, отображающая условия залегания и соотношение горных пород различного состава и возраста, формы геологических тел, характер складчатых и разрывных нарушений.

РАЗРЕЗ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ — графическая модель вертикального сечения верхней части литосферы, отображающая ее пространственные структуры и свойства — компоненты инженерно-геологических условий. Включает элементы разреза геологического, но в отличие от него на Р. и.-г. в более крупном масштабе отображается возможная сфера взаимодействия человека или результатов его деятельности с геологической средой, выделяются водоносные горизонты, проявления экзогенных геологических процессов, могут выделяться инженерно-геологические элементы с указанием состава и физико-механических свойств, слагающих их грунтов.

РАЗРЫВ — см. *Дислокация разрывная.*

РАКОВИНА — наружный, реже внутренний скелет многих беспозвоночных (фораминиферы, брахиоподы, моллюски, раковинные амёбы, плеченогие); состоит из одной или двух, реже нескольких частей, называемых створками. Из скоплений Р. образованы многие осадочные горные породы.

РАПА — насыщенный соляной раствор в водоемах, порых и пустотах донных отложений соляных озер.

РАССОЛЫ, РАССОЛЬНЫЕ ВОДЫ — природные воды, в том числе подземные, имеющие общую минерализацию более 35 г/л.

РАСХОД ПОТОКА — см. *Производительность потока.*

РАСЧИСТКА — горная выработка, обычно проходимая на склонах для раскрытия выходов коренных горных пород путем удаления перекрывающего их маломощного слоя рыхлых отложений (коллювий, делювий, элювий).

РЕГИОН [лат. *regio*... — область] — область, район, другое крупное подразделение, выделяемое при инженерно-геологическом районировании, характеризующееся общностью определенных признаков или свойств геологической среды.

РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ [лат. *regio* — область] — научное направление инженерной геологии, изучающее строение и свойства геологической среды различных структурных зон земной коры, закономерности формирования и простираения изменчивости их инженерно-геологических условий, изменение этих условий в связи с осуществляемой или планируемой деятельностью человека.

РЕГРЕССИЯ МОРЯ [лат. *regressio* — обратное движение, отход] — медленное отступление моря от берегов, вызванное поднятием суши, опусканием морского дна или уменьшением воды в бассейне. См. *Трансгрессия*.

РЕЕСТР [лат. *regestrum* — список, перечень] — опись горных выработок, монолитов, проб и т. д., в которую заносятся адрес выработки, глубина отбора проб и другие необходимые для конкретных случаев сведения.

РЕЖИМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД [лат. *regimen* — управление] — изменение во времени уровня, напора, направления и скорости течения, химического и газового состава, температуры и других параметров подземных вод рассматриваемого водоносного горизонта.

РЕЖУЩЕЕ КОЛЬЦО — тонкостенный цилиндр с заостренным с одной стороны краем, используемый для задавливания в грунт (или монолит) с целью отбора пробы ненарушенной структуры. Используется при определении плотности грунта или отбора образцов для проведения других видов лабораторных исследований (компрессия, сдвиг).

РЕКИ — водотоки значительных размеров, текущие в естественных, четко выраженных руслах и питающиеся за счет поверхностного и подземного стоков с их бассейнов.

РЕКОГНОСЦИРОВКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ [лат. *recognosco* — осматриваю; обследую] — комплекс работ при изысканиях инженерно-геологических на стадии составления предпроектной документации, выполняемый с целью: контроля, уточнения и дополнения собранных материалов изысканий прошлых лет, установления и сравнительной оценки инженерно-геологических условий изучаемой территории; составления программы последующих изысканий; установления границ распространения и условий развития опасных геологических процессов; выявления изменений инженерно-геологических условий. При Р. и.-г. проводятся в основном аэровизуальные и маршрутные наблюдения, дешифрирование аэрокосмоматериалов и лишь при необходимости другие виды работ.

РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЛАНДШАФТА (ЗЕМЕЛЬ) [лат. *re* — приставка, указывающая на повторное, возобновляемое действие + *cultivo* — обрабатываю, возделываю] — частичное или полное восстановление ландшафта или продуктивности земель, нарушенных в результате хозяйственной деятельности человека.

РЕЛИКТ [лат. *relictum* — остаток] — структура, процесс, явление, организм, сохранившиеся в горных породах от древних эпох.

РЕЛЬЕФ [фр. *relief* — выпуклость] — совокупность всех форм земной поверхности для каждого конкретного участка и для Земли в целом, включая дно океанов и морей. См. *Формы рельефа*.

РЕСУРСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД [фр. *ressources* — вспомогательные средства] — см. *Запасы подземных вод*.

РИФЕЙ [лат. *ripheae* — Рифейские горы, древнее название Уральских гор] — крупное стратиграфическое подразделение протерозойской эры. См. *Геохронологическая шкала*.

РИФТ, РИФТОВАЯ ЗОНА [англ. *rift* — трещина, разлом] — линейно вытянутая на сотни километров щелевидная или ровообразная структура растяжения земной коры шириной от нескольких десятков до сотен километров, ограниченная разломами; представляет собой систему грабенов и горстов с амплитудой вертикального смещения до нескольких километров.

РИХТЕРА ШКАЛА — предложенная в 1935 г. американским сейсмологом Ч.Ф. Рихтером, теоретически обоснованная совместно с Б. Гутенбергом в 1941—1945 гг. шкала магнитуд (M); уточнена в 1962 г. (Московско-Пражская шкала) и рекомендована Международной ассоциацией сейсмологии и физики недр Земли в качестве стандартной. По этой шкале магнитуда любого землетрясения определяется как десятичный логарифм максимальной амплитуды сейсмической волны (выраженной в микрометрах), записанной стандартным сейсмографом на расстоянии 100 км от эпицентра. При других расстояниях от эпицентра до сейсмостанции вводится поправка к замеренной амплитуде с целью приведения ее к той, которая соответствует стандартному расстоянию. Нуль Р. ш. ($M = 0$) дает очаг, при котором амплитуда сейсмической волны на расстоянии 100 км от эпицентра будет равна 1 мкм или 0,001 мм. При увеличении амплитуды в 10 раз магнитуда возрастает на единицу. При амплитуде, меньшей 1 мкм, магнитуда имеет отрицательные значения; известные максимальные значения магнитуд $M = 8,5 \div 9$. Магнитуда — расчетная величина, относительная характеристика сейсмического очага, не зависящая от места расположения записывающей станции; используется для оценки общей энергии, выделившейся в очаге (установлена функциональная зависимость между магнитудой и энергией). См. *Землетрясения, Сейсмические волны*.

РОДНИКИ — см. *Источники*.

РУДА — природное минеральное образование, содержащее какой-либо металл, несколько металлов или неметаллические полезные ископаемые в количествах (концентрациях), при которых экономически целесообразно их извлечение.

РУДООБРАЗОВАНИЕ — формирование природного минерального вещества — руды, из которой возможно и экономически выгодно извлекать различные элементы и их соединения.

РУКОВОДЯЩИЕ ИСКОПАЕМЫЕ — обобщенное наименование руководящей фауны и флоры.

РУКОВОДЯЩАЯ ФАУНА — остатки вымерших животных организмов (окаменелость), наиболее типичные для осадочных толщ определенного геологического возраста. Для Р. ф. характерна быстрая смена ископаемых видов во времени от слоя к слою и специфические особенности в строении скелета, позволяющие легко различать эти организмы.

РУКОВОДЯЩАЯ ФЛОРА — остатки вымерших растительных организмов (окаменелости), характерные для осадочных толщ определенного геологического возраста.

РУСЛО РЕКИ — выработанное речным потоком ложе (наиболее пониженная часть речной долины), по которому осуществляется сток в межпаводковый период.

РЭЛЕЯ ВОЛНЫ [название колебания дано в честь англ. физика Дж. У. Рэля, предсказавшего в 1885 г. их существование] — один из видов поверхностных волн, возникающих при землетрясениях. См. *Сейсмические волны*.

С

САМОРОДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ — химические элементы, встречающиеся в природе в виде относительно устойчивых минералов (алмаз, графит, сера, медь и др.).

САПРОПЕЛЬ [гр. *sapros* — гнилой + *pelos* — ил] — пресноводный ил, образовавшийся при разложении органических (преимущественно растительных) остатков на дне застойных водоемов (озер) и содержащий более 10 % органических веществ; коэффициент пористости C_p , как правило, более 3, показатель текучести более 1, содержание частиц размером свыше 0,25 мм не превышает 5 %.

СБРОС — одна из форм разрывных тектонических смещений блоков горных пород по разлому (трещине, сместителю), при которой поверхность разрыва наклонена в сторону опущенного блока.

СВИТА — основная единица местных стратиграфических подразделений, выделяемая преимущественно по литологическим признакам.

СВОБОДНАЯ ВОДА — см. *Классификация подземных вод*.

СВОЙСТВА — для горных пород (грунтов) выражение таких особенностей одной породы, которые отличают ее от других или создают с ними какую-либо общность и проявляются во взаимоотношениях пород между собой или с сооружениями.

СВЯЗАННАЯ ВОДА — см. *Классификация подземных вод*.

СВЯЗНЫЕ ГРУНТЫ — глинистые и лессовые грунты, характеризующиеся значительным содержанием глинистых частиц и обладающие способностью при определенных значениях влажности переходить в пластичное состояние.

СДВИГ — одна из форм разрывных тектонических деформаций, при которой происходит смещение блоков в горизонтальном направлении. Элементы С.: крылья, сместитель, угол падения сместителя и ам-

плитуды смещения. По углу падения выделяются горизонтальные, пологие, крутые, вертикальные С.

СДВИЖЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД — деформации перемещения горных пород над выработанными подземными пространствами, часто достигающими поверхности Земли.

СЕДИМЕНТАЦИЯ [лат. *sedimentum* — оседание] — оседание твердых частиц, взвешенных в воде или воздухе, происходящее под действием силы тяжести. Син. — осадконакопление.

СЕДИМЕНТОГЕНЕЗ [лат. *sedimentum* — оседание + ...генез] — процесс осадкообразования на дне водоемов, водотоков или на суше; начальная стадия литогенеза от момента оседания частиц до начала преобразования их в горных породах (диагенез). Син. — осадкообразование.

СЕДИМЕНТАЦИОННАЯ ГИПОТЕЗА — гипотеза, объясняющая происхождение отдельных горизонтов подземных вод как остаточных растворов, находившихся в порах горных пород при осадконакоплении в водных бассейнах.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ — 1) научное учреждение, ведущее регистрацию колебаний земной поверхности, вызванных землетрясениями, и их первичную обработку; 2) установка, прибор для регистрации искусственно возбуждаемых сейсмических волн с целью изучения строения литосферы и получения другой геологической и инженерно-геологической информации. См. *Сейсморазведка*.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ [гр. *seismos* — колебание, землетрясение] — упругие колебания, распространяющиеся в земле от очагов землетрясений, взрывов, ударов и других источников возбуждения. С. в. подразделяют на продольные или *P*-волны [лат. *primae* — первые; приходят к поверхности земли первыми, так как имеют скорость в 1,7 раз большую, чем поперечные волны], поперечные или *S*-волны [лат. *secundae* — вторые] и поверхностные или *L*-волны [лат. *long* — длинный]. Длины *L*-волн больше, скорости меньше, чем у *P*- и *S*-волн. Продольные С. в. — волны сжатия и растяжения среды в направлении сейсмических лучей (во все стороны от очага землетрясения или другого источника возбуждения); поперечные С. в. — волны сдвига в направлении, перпендикулярном сейсмическим лучам; поверхностные С. в. — волны, распространяющиеся вдоль поверхности земли, *L*-волны подразделяют на волны Лява (поперечные колебания в горизонтальной плоскости, не имеющие вертикальной составляющей) и волны Рэлея (сложные колебания, имеющие вертикальную составляющую), названные так в честь открывших их ученых.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ШКАЛЫ [гр. *seismos* — землетрясение + лат. *scala* — лестница] — шкалы, используемые для оценки интенсивности колебаний (сотрясений) на поверхности Земли при землетрясениях в баллах (см. *Сейсмический балл*). Первую (из близких к современным) 10-балльную С. ш. составили в 1883 г. совместно М. Росси (Италия) и Ф. Форель (Швейцария). В настоящее время большинство стран мира используют 12-балльные шкалы: С. ш. «ММ» в США (усовершенствованная шкала Меркалли—Конкани—Зиберга); Международная С. ш. MSK-64 (по фамилии авторов С. Медведева, В. Шпонхойера, В. Кар-

ника, созданная в 1964 г.); С. ш. Института физики Земли АН СССР и др. В Японии используется 7-балльная шкала, составленная Ф. Омори (1900) и в последующем многократно переработанная. Балльность по С. ш. MSK-64 (уточненной и дополненной Межведомственным советом по сейсмологии и сейсмостойкому строительству в 1973 г.) устанавливается: а) по поведению людей и предметов (от 2 до 9 баллов); б) по степени повреждения или разрушения зданий и сооружений (от 0 до 10 баллов); в) по сейсмическим деформациям и возникновению других природных процессов и явлений (от 7 до 12 баллов). См. *Сейсмический балл*.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ БАЛЛ — условная единица измерения (ступень) сейсмической шкалы; цифровая оценка интенсивности сотрясения на поверхности земли при землетрясениях.

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МИКРОРАЙОНИРОВАНИЕ — уточнение максимально возможной интенсивности сотрясения отдельных участков при землетрясении на основе карты сейсмического районирования с учетом местных инженерно-геологических условий (состав и свойства грунтов, их мощность, обводненность; глубина залегания уровня грунтовых вод; крутизна склонов и др.). Балльность участка может на 1—2 балла отличаться от балльности района.

СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ — разделение территории на районы, различные по степени потенциальной сейсмической опасности. В СНИПе приводится карта С. р. территории, где выделены районы с максимально возможной интенсивностью сотрясения от 5 до 9 баллов (для «средних» грунтовых условий). Учет конкретных инженерно-геологических условий участка проводится при сейсмическом микрорайонировании.

СЕЙСМИЧНОСТЬ — проявление землетрясений на поверхности земли в целом или в отдельных областях. Характеризуется территориальным распределением эпицентров, интенсивностью сотрясений, повторяемостью землетрясений разной силы и др.

СЕЙСМОГРАММА [гр. *seismos* — колебание, землетрясение + *gramma* — черта, буква, написание] — результат автоматической записи с помощью сейсмографа упругих колебаний Земли, вызванных землетрясением, взрывом, ударом. Расшифровка С. позволяет установить время возникновения землетрясения, местоположение очага землетрясения, амплитуду и период колебаний, магнитуду.

СЕЙСМОГРАФ [гр. *seismos* — колебание + *graphs* — пишу] — прибор для записи упругих колебаний Земли.

СЕЙСМОЛОГИЯ [гр. *seismos* — колебание, землетрясение + *logia*] — наука (раздел геофизики), изучающая землетрясения и связанные с ними явления.

СЕЙСМОРАЗВЕДКА (СЕЙСМИЧЕСКАЯ РАЗВЕДКА) — геофизический метод получения инженерно-геологической информации, основанный на наблюдении процессов распространения в земной коре искусственно возбуждаемых взрывом или ударом сейсмических волн. Используется для изучения тектонического, геологического, гидрогеологического строения верхней части литосферы и оценки некоторых

свойств геологической среды (плотность, пористость, трещиноватость, водонасыщенность, упругость и др.).

СЕЛЬ [араб. *sail* — бурный поток] — внезапно формирующийся, кратковременный грязевый, грязекаменный или водокаменный поток, иногда разрушительный, возникающий в руслах горных рек в результате ливневых дождей, бурного таяния снега и ледников, обрушения в русло большого количества рыхлого обломочного материала. Син. — *силь*.

СЕРИЯ (лат. *series* — ряд) — крупная единица местных (региональных) стратиграфических подразделений, включающая мощные и сложно построенные толщи осадочных, вулканических или метоморфических образований (или их совокупность). Подразделяется на свиты и имеет собственное географическое название.

СЖИМАЕМОСТЬ — способность горных пород и грунтов деформироваться (давать осадку) под действием внешних нагрузок. Численно характеризуется модулем общей деформации и коэффициентом *С*.

СИАЛЬ [лат. *silex* — кремьнь + *Aluminium* — алюминий] — верхняя часть литосферы, сложенная горная порода, состоящая главным образом из кремния и алюминия. Устаревший термин.

СИЛЛ [швед. *syll* — лежень, подкладка] — пластообразное геологическое тело, сложенное магматическими глубинными горными породами, залегающее согласно с вмещающими слоистыми и осадочными породами. Длина *С*. достигает иногда десятков километров.

СИЛУР [силуры — название кельтского племени, обитавшего в Уэльсе во времена Римской империи] — сокращенное название силурийской системы и периода. См. *Геохронологическая шкала*.

СИМА — оболочка Земли, залегающая ниже *сиали*, сложенная горными породами, состоящими преимущественно из кремния (*Si*) и магния (*Mg*). Устаревший термин.

СИНГОНИЯ [гр. *syn* — вместе + *gōnia* — угол] — подразделение кристаллов по признаку симметрии их элементарной ячейки, характеризуется соотношением между ее ребрами и углами. Существует семь *С.*: кубическая, гексатональная, тетрагональная, тригональная, ромбическая, моноклиновая, триклиновая.

СИНЕКЛИЗА [гр. *syn* — вместе + *enkklisis* — наклонение] — обширный (до нескольких сотен километров в поперечнике) и пологий прогиб слоев земной коры в пределах платформ.

СИНКЛИНАЛЬ [гр. *syn* — вместе + *klino* — гну, наклоняю] — крылья складки подняты над ядром, вогнутый изгиб последовательно напластованных слоев, при котором внутренняя часть *С.* (ядро) сложена более молодыми горными породами. См. *Брахисинклиналь*, *Складка*.

СИНКЛИНОРИЙ — крупная (десятки и сотни километров протяженностью) и сложно построенная структура земной коры, имеющая в целом синклинальное строение.

СИСТЕМА [гр. *sistema* — целое, составленное из частей] — единица второго порядка общей стратиграфической шкалы; часть группы, отвечающая определенному естественному этапу в развитии земной коры и органического мира. См. *Геохронологическая шкала*.

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ — подразделения органического мира. В порядке соподчинения выделяют: царство, подцарство, тип, подтип, класс, подкласс, надотряд, отряд, подотряд, надсемейство, семейство, род, подрод, вид, подвид. Син. — таксономические единицы.

СКАЛА — употребляемый в производственной геологической и строительной деятельности термин. Син. — скальные породы.

СКАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ — класс грунтов с жесткими (кристаллизационными или цементационными) структурными связями.

СКВАЖИНА БУРОВАЯ — цилиндрическая горная выработка, пройденная в процессе бурения и имеющая глубину, существенно большую диаметра. Начало С. б. называется устьем, самая глубокая точка — забоем, внутренняя поверхность — стенками. С. б. проходят с поверхности земли или из подземных горных выработок под любым углом (вертикальные, наклонные, горизонтальные).

СКВАЖИНЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ — см. *Скважины инженерно-геологические.*

СКВАЖИНЫ ЗОНДИРОВОЧНЫЕ — см. *Скважины инженерно-геологические.*

СКВАЖИНЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ — скважины буровые, проходимые с целью получения сведений о геологическом и гидрогеологическом строении исследуемого участка (района) на сравнительно небольшую глубину (несколько большую глубины предполагаемого взаимодействия сооружения или технологического процесса с окружающей средой), отбора образцов (монолитов) грунта и проб воды для проведения лабораторных исследований, проведения опытных полевых работ. По назначению С. и.-г. подразделяют на зондировочные, разведочные, гидрогеологические, специального назначения. Зондировочные (диаметр 33—127 мм) служат для предварительного изучения геологического разреза, установления границ резко отличных по свойствам слоев (преобладают на начальных этапах изысканий); разведочные (диаметры 108—219 мм) — для детального изучения разреза с отбором необходимого количества кернов (монолитов), технические (диаметр 127—325 мм) как разновидность разведочных — для отбора монолитов или проведения трудоемких опытных работ (прессиометрия, испытание штампом, испытание на срез и др.); гидрогеологические (диаметр 108—425 мм) — для изучения гидрогеологического разреза и проведения опытных откачек (могут быть одновременно и разведочными).

СКВАЖИНЫ РАЗВЕДОЧНЫЕ — см. *Скважины инженерно-геологические.*

СКВАЖНОСТЬ — совокупность пор, трещин, каналов и других пустот в горной породе. Численно характеризуется отношением объема пустот к объему горной породы.

СКЛАДКА, СКЛАДЧАТАЯ ДЕФОРМАЦИЯ [лат. *deformatio* — искажение, изменение формы и размеров] — глубинная или приповерхностная форма нарушенного залегания горных пород, характеризующаяся их изгибом или наклоном без разрыва сплошности (антиклиналь, синклиналь, моноклиналь, флексура). В каждой складчатой форме выделя-

ются отдельные части (элементы): крылья — боковые части С.; замок — место перегиба или смыкания крыльев (перехода одного крыла в другое); ядро — внутренняя часть С., заключенная между крыльями и замком; вершина — точка максимума перегиба на поперечное сечение С.; угол С. — двугранный угол между крыльями; осевая плоскость (поверхность) — плоскость (поверхность), делящая С. вдоль на две части так, что угол С. делит ее пополам; шарнир — след от пересечения поверхности любого слоя С. осевой плоскостью (поверхностью) или линия, проходящая через точки максимума перегиба поверхности одного слоя (шарниров в С. столько, сколько слоев; они могут вздыматься, погружаться, изгибаться); ось — линия пересечения осевой поверхности с горизонтальной плоскостью.

СКЛАДЧАТАЯ ОБЛАСТЬ — участок земной коры, в пределах которой слои горных пород смяты в складки.

СКЛАДЧАТОСТЬ — совокупность складок горных пород.

СКЛОН — наклонный участок земной поверхности.

СКОРОСТЬ ФИЛЬТРАЦИИ — количество воды, проходящее через единицу площади поперечного сечения водоносного пласта в единицу времени; численно равна произведению гидравлического градиента на коэффициент фильтрации.

СЛАНЦЕВАТОСТЬ — внутренняя текстура некоторых метаморфических горных пород, выражающаяся наличием в горных породах плоскостей делимости (листоватости), обусловленных переориентацией или перекристаллизацией зерен минералов при метаморфизме (длинные оси располагаются перпендикулярно действию силы); разновидность кливажа.

СЛОИСТОСТЬ — сложение горных пород в виде налегающих одна на другую слоев, различающихся составом, строением, цветом или другими признаками. С. свойственна большинству осадочных и вулканогенно-осадочных пород. Различают С. осадочных толщ и С. внутри слоя горной породы — слойчатость. Обусловлена С. изменением во времени физико-химических, динамических и других условий осадконакопления.

СЛОЙ — геологическое тело плоской формы, сложенное разновозрастными, относительно однородными осадочными горными породами с близким составом, строением, цветом или другими признаками. От горных пород, слагающих другие слои, С. ограничен двумя примерно параллельными поверхностями: нижней — подошвой и верхней — кровлей.

СЛОЙЧАТОСТЬ — внутренняя текстура слоя осадочных горных пород, выражающаяся в чередовании обычно тонких прослоек (от долей миллиметра до 1—2 см), различающихся по структуре, составу, примесям. С. может быть горизонтальной, наклонной, волнистой, промежуточных типов. См. *Слоистость*.

СМЕСТИТЕЛЬ — поверхность, по которой происходило относительное смещение блоков горных пород (крыльев) при разрывной дислокации.

СОЛИФЛЮКЦИЯ [лат. *solum* — почва, земля + *fluktum* — истечение] — медленное передвижение почв и грунтов на пологих склонах рельефа (начиная с 2—3°, наиболее активно при 8—15°) под влиянием попеременного протаивания — промерзания и силы тяжести. Скорость передвижения материала от нескольких сантиметров до нескольких метров в год. При больших уклонах С. процессы могут перейти в оползни. С С. связано образование специфических форм рельефа: валов, гряд, террас и др.

СОЛОНЧАКИ — засоленные почвы степных, полупустынных и пустынных зон.

СОПКА — общее название холмов и гор с округлой вершиной в Забайкалье, Казахстане и на Дальнем Востоке, вулканов на Камчатке и Курильских островах, грязевых вулканов в Крыму и на Кавказе.

СОСТАВ — характеристика горных пород (грунтов), определяющая количественное содержание в них качественно различных элементов. Например, гранулометрический состав, минералогический состав.

СПЕЛЕОЛОГИЯ [гр. *spelaiou* — пещера + ...логия] — наука, занимающаяся изучением пещер: происхождением, формой, развитием, микроклиматом, водами, органическим миром, остатками материальной культуры, современным использованием.

СТАБИЛОМЕТР [лат. *stabilis* — устойчивый + *metron* — мера] — лабораторный прибор для комплексного исследования механических свойств грунтов в условиях трехосного сжатия.

СТАЛАГМИТ [гр. *stalagma* — капля] — натечное минеральное образование (чаще известковое), нарастающее снизу вверх со дна карстовых пещер и полостей в виде сосулек, столбов и других форм при испарении капающей сверху минерализованной воды. См. *Сталактит*.

СТАЛАКТИТ [гр. *stalaktos* — натекающий по капле] — натечное минеральное образование (чаще известковое), нарастающее на потолках карстовых пещер и полостей сверху вниз при испарении капель воды и свешивающиеся в виде сосулек, бахромы и других форм. См. *Сталагмит*.

СТАРИЦА (староречье) — полностью или частично отделившийся от реки участок его прежнего русла.

СТАТИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ [гр. *states* — стоящий] — естественный, не нарушенный откачкой или нагнетанием уровень безнапорных подземных вод.

СТЕКЛО ВУЛКАНИЧЕСКОЕ — застывший в виде аморфной массы расплав магмы или лавы (кристаллы отсутствуют или находятся в небольших количествах). Разновидности С. в.: обсидиан, пемза и др.

СТЕПЕНЬ ВЛАЖНОСТИ — отношение объема воды, находящейся в порах грунта, к объему пор. Син.—степень заполнения пор водой.

СТЕПЕНЬ ВЫВЕТРЕЛОСТИ — отношение плотностей выветрелого и невыветрелого образцов одного и того же скального грунта.

СТЕПЕНЬ НЕОДНОРОДНОСТИ — величина $C_n = d_{60}/d_{10}$, характеризующая неоднородность песчаных и крупнообломочных грунтов, определяемая по их зерновому составу; где d_{60} и d_{10} — диаметры частиц,

меньше которых содержится в грунте (по массе) соответственно 60 или 10% частиц.

СТОК — стекание в море, озера с понижением рельефа дождевых, талых и подземных вод, происходящее как по земной поверхности (поверхностный С.), так и в толще горных пород (подземный С.). С. — составная часть круговорота воды в природе.

СТОК ТВЕРДЫЙ — количество взвешенных, влекомых по дну и растворенных веществ (в тоннах), переносимых рекой через любое поперечное сечение за какой-либо промежуток времени (декада, месяц, год и др.). С. т. характеризует интенсивность эрозионных процессов в данном речном бассейне.

СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ КОЛОНКА [лат. *stratum* — слой + *grapho* — пишу] — графическое изображение возрастной последовательности напластования горных пород какой-либо территории в нормальном стратиграфическом разрезе и характера контактов между смежными стратиграфическими подразделениями. На С. к. относительный возраст горной породы отмечается индексами, названием или цветом (см. *Геохронологическая шкала*), состав пород — штриховкой и описанием, мощность — масштабом колонки или цифрой, перерыв в осадконакоплении — волнистой чертой, иногда абсолютный возраст — цифрами (в млн лет). Обычно С. к. является составной частью геологических карт. См. *Стратиграфия*.

СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ШКАЛА [лат. *stratum* — слой + *grapho* — пишу] — шкала, показывающая последовательность и соподчиненность стратиграфических подразделений горных пород, составляющих земную кору; отражает этапы исторического развития земной коры или ее отдельных участков. См. *Геохронологическая шкала*, *Стратиграфия*.

СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ КОДЕКС [лат. *stratum* — слой + *grapho* — пишу; *codex* — книга] — свод основных положений стратиграфической классификации, терминологии, номенклатуры.

СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД — метод определения относительного возраста горных пород путем изучения взаимоотношения слоев друг с другом, установление последовательности их образования, сравнения полученных результатов со стратиграфической шкалой.

СТРАТИГРАФИЯ — геологическая дисциплина, изучающая последовательность формирования геологических тел и их первичные пространственные взаимоотношения.

СТРАТОИЗОГИПСЫ [лат. *stratum* — слой + *isos* — равный + *hypsos* — высота] — линии на картах подземного рельефа или структурных картах, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными отметками поверхности геологического тела.

СТРАТОНЫ — стратиграфические единицы и подразделения.

СТРОЕНИЕ — характеристика горных пород и грунтов, определяющая особенности их структуры и текстуры.

СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ — прикладная отрасль климатологии, изучающая взаимодействие зданий и сооружений, расположенных на данной территории, с ее климатическими особенностями и

разрабатывающая в связи с этим специальные методы расчета конструкции зданий и сооружений.

СТРУКТУРА [лат. *structura* — строение, расположение, порядок] — особенности строения грунта (горной породы), обусловленные размерами и формой частиц, характером их поверхности, количественным соотношением слагающих грунты (породы) элементов (минеральных зерен и агрегатов частиц) и характером их взаимодействия друг с другом. С. отражает условия образования и последующего преобразования горной породы (грунта). С. грунтов (пород) магматического происхождения подразделяются по степени кристалличности на полнокристаллическую (все вещество кристаллизовано в агрегаты минералов), стекловатую (все вещество представлено стеклом вулканическим) и неполнокристаллическую (часть вещества кристаллизована); по абсолютным размерам зерен — на гигантозернистую (более 1 см), крупнозернистую (1—0,3 см), среднезернистую (0,3—0,1 см), мелкозернистую (0,1—0,01 см), афанитовую или скрытокристаллическую (менее 0,01 см); по относительному размеру минеральных зерен — на равномернозернистую и неравномернозернистую. Среди последней наиболее часто встречаются разновидности С.: порфировидная (основная масса горной породы представлена полнокристаллическим равномернозернистым агрегатом минералов, выполняющим промежутки между более крупными порфировыми выделениями); порфировая (основная масса горной породы представлена вулканическим стеклом с микролитами или без них, заполняющим промежутки между вкрапленниками); афировая (горные породы сложены вулканическим стеклом с микролитами и не содержат вкрапленников). Грунты (горные породы) метаморфического происхождения обладают кристаллической С., причем особенно характерны листоватая, чешуйчатая, игольчатая и таблитчатая формы зерен; реже они зернисто-кристаллические. В слабометаморфизованных горных породах встречаются скрытокристаллические и переходные С., в том числе унаследованные от горных пород, подвергшихся метаморфизму (реликтовые С.). С. грунтов (пород) осадочного происхождения подразделяется по степени цементации на рыхлую, сцементированную и связную; по величине обломков (в поперечнике) — на крупнообломочную (псефитовую) — более 2 мм, песчаную (псаммитовую) — от 2 до 0,05 мм, пылеватую (алевритовую) — от 0,05 до 0,005 мм, глинистую (пелитовую) менее 0,005 мм; по окатанности обломков — на угловатую, полуокатанную, скатанную; по соотношению размеров зерен — на разно- и равнозернистую; по форме зерен — на листоватую, оолитовую, игольчатую, волокнистую, брекчевидную. См. *Текстура*.

СТРУКТУРА ПОЛНОКРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ — структура магматических горных пород, не содержащая вулканического стекла.

СТРУКТУРА ПОРФИРОВАЯ — структура эффузивных магматических горных пород в виде очень мелкозернистой основной массы с вулканическим стеклом или без него, в которой располагаются отдельные крупные включения кристаллов, обычно правильной формы.

СУФФОЗИЯ [лат. *suffosio* — подкапывание, подрывание] — вынос подземными водами мелких минеральных частиц из обломочных горных пород (грунтов). Часто С. предшествует или сопутствует процесс выщелачивания и выноса в растворенном виде легко- и среднерастворимых солей. См. *Карст*.

СУХОДОЛ — сухая долина. См. *Балка*.

СУХОЙ ОСТАТОК — сумма минеральных веществ, получаемых в результате выпаривания профильтрованной природной воды. С. о., выраженный в г/л или мг/л, характеризует общую минерализацию воды, но всегда меньше ее, так как при выпаривании около 51 % гидрокарбонат-иона распадается и теряется.

СЪЕМКА ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ — совокупность всех видов работ по созданию карт геологических непосредственно с натуры; один из основных методов изучения геологического строения земной коры. Составляет из двух этапов: полевых исследований и камеральной обработки собранного материала.

СЪЕМКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ — комплекс полевых исследований и камеральных работ, производимых с целью составления карт гидрогеологических и оценки общих гидрогеологических условий территории.

СЪЕМКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ — комплексный метод получения инженерно-геологической информации, необходимой и достаточной для составления схем размещения отраслей народного хозяйства, генпланов районов, вариантного проектирования, разработки проектов (рабочих проектов) предприятий, линейных сооружений, обоснования схем комплексной инженерной защиты городов, охраны геологической среды, составления проектов организации строительства. В результате С. и.-г. создаются карты инженерно-геологические. См. *Изыскания инженерно-геологические*.

Т

ТАКСОНЫ, ТАКСОНОМИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ [гр. *taxis* — расположение по порядку + *nomos* — закон] — соподчиненная группа объектов в какой-либо классификации. Например, класс, группа, подгруппа, тип, вид, разновидность в классификации грунтов (ГОСТ 25100—95). Син. — систематические единицы.

ТАКЫРЫ [тюрк. — гладкий, ровный, голый] — плоские поверхности, почти лишенные растительности, площадью от нескольких квадратных метров до десятков квадратных километров, расположенные в районах распространения глинистых пород пустынных и полупустынных зон. Часто являются дном периодически пересыхающих озер. В сухое время года покрыты коркой, разбитой многочисленными трещинами.

ТАЛИК — оттаявший объем горных пород среди многолетнемерзлой толщи, имеющий положительную температуру и влагу в жидкой фазе хотя бы в течение части года.

ТАЛЬВЕГ [нем. *Tal* — долина + *Weg* — дорога] — линия, соединяющая самые низкие точки дна речной долины, оврага, балки и других эрозионных форм рельефа.

ТАМПОН [фр. *tampou* — пробка, затычка] — устройство для изоляции требуемого интервала горных пород в скважине с целью определения их водопроницаемости методом нагнетания воды или для других целей.

ТАМПОНАЖ — заполнение трещин, пустот в горных породах суспензиями, растворами или смесями вязущего вещества с жидкостью (водой) с целью уменьшения водо- и газопроницаемости. Т. скважин — комплекс работ по изоляции отдельных слоев или интервалов в процессе бурения или по его окончании для предотвращения выхода воды, нефти, газов, а также заполнения скважин бетоном, глинистым или другим материалом после их ликвидации.

ТВЕРДОСТЬ — степень сопротивления минералов внешним механическим воздействиям (вдавливанию, царапанию, резанию), устанавливаемая по Моосу шкале; важный диагностический признак.

ТЕКСТУРА [лат. *textura* — ткань, строение, сплетение, сложение] — особенности строения грунта (горных пород), обусловленные пространственным расположением слагающих его элементов.

Для грунтов магматического происхождения характерны Т.: массивная (плотное беспорядочное расположение кристаллов минералов в массе пород или отсутствие кристаллов — вулканическое стекло); пятнистая (неравномерное распределение темных и светлых минералов в объеме пород); полосчатая (темные и светлые минералы располагаются в виде чередующихся полос); пузырчатая (наличие пустот от пузырьков выделившегося газа), миндалекаменная (пустоты, напоминающие по форме зерна миндаля, заполнены вторичными минералами); флюидальная (кристаллы и стекловатая масса вытянуты по направлению течения вещества, как бы окаменели в потоке).

Грунты (горные породы) метаморфического происхождения имеют Т.: сланцеватую (с параллельным расположением чешуйчатых или таблитчатых минералов); гнейсовую (с параллельным расположением таблитчатых минералов при малом содержании чешуйчатых частиц); полосчатую (с чередованием полос разной толщины различного минерального состава); волокнистую (с волокнистыми или игольчатыми минералами, вытянутыми примерно в одном направлении); очковую (с рассеянными в породе крупными овальными зернами, обычно выделяющимися по цвету); плейчатую (при наличии в породах мелких складок); беспорядочную (с хаотическим, неориентированным расположением зерен).

Т. горных пород (грунтов) осадочного происхождения: беспорядочная (частицы расположены хаотически), слоистая (наблюдается чередование мелких слоев или слоев, сложенных частицами различного состава, размера или цвета); листоватая (порода разделяется на тончайшие пропластки в связи с частой сменой зерен различного размера по слоистости); полосчатая (поверхности слоистости почти параллельно или волнообразно изгибаются и выклиниваются). См. *Структура*.

ТЕКТОНИКА [гр. *tektonikos* — относящийся к строительству] — раздел геологии, изучающий структуру, движения, деформации, развитие земной коры или ее отдельных участков. Син. — геотектоника.

ТЕКУЧЕЕ СОСТОЯНИЕ — характеристика грунта, обладающего такой влажностью, при которой он начинает растекаться на какой-либо поверхности при незначительных нагрузках.

ТЕКУЧЕСТЬ — свойство влажных грунтов пластично деформироваться под действием внешней нагрузки.

ТЕКУЧЕСТЬ ГРУНТОВ — свойство грунтов, состоящих преимущественно из глинистых минералов, при насыщении водой растекаться по ровной поверхности.

ТЕРМАЛЬНЫЕ ВОДЫ [гр. *therme* — жар, тепло] — подземные воды, температура которых превышает 20 °С (по другим определениям — более 37 °С). Син. — термы.

ТЕРМОКАРСТ [гр. — *therme* жар, тепло + *карст*] — образование полостей и пустот в горных породах или неравномерное проседание и провалы поверхности земли в результате вытаивания подземного (погребенного) льда. Син. — термический карст.

ТЕРРАСЫ [фр. *terrasse* от лат. *terra* — земля] — горизонтальные или слабо наклоненные участки поверхности Земли, ограниченные уступами (или уступом) на склонах речных долин (пойма, надпойменные Т.), берегах морей и озер.

ТЕСНИНА — глубокая узкая долина реки с отвесными, иногда нависающими склонами, порожи́стым руслом, занимающим все дно долины.

ТЕХНОГЕННАЯ СРЕДА — глобальная система, представляющая собой совокупность зданий, сооружений, их комплексов, городов и городских агломераций со всем комплексом технологического использования в жизнедеятельности человека.

ТИКСОТРОПИЯ [гр. *thixis* — прикосновение + *trope* — поворот, изменение] — способность дисперсных грунтов и суспензий восстанавливать исходную структуру, нарушенную механическим воздействием. Свойством Т. обладают отдельные виды плывунов, глинистых грунтов; это свойство имеет промывочная жидкость, применяемая при бурении.

ТИП [гр. *typos* — образец, форма, отпечаток] — единица расчленения изучаемой реальности, таксономическая единица в классификациях грунтов, подземных вод и др.

ТОЛЩА — группа слоев или других образований горных пород, характеризующаяся общностью одного или нескольких признаков (возраст, состав, водоносность, происхождение и др.).

ТРАНСГРЕССИЯ [лат. *transgressio* — переход, передвижение] — наступление моря на сушу, вызванное опусканием последней, подъемом дна или увеличением объема воды в бассейне. См. *Регрессия*.

ТРАНСПИРАЦИЯ (лат. *trans* — сквозь, через + *spirare* — дышать, вдыхать) — испарение растением воды (главным образом через листья), поглощаемой из почвы.

ТРАНШЕЯ — горная выработка или строительная выемка, протяженная в плане и сравнительно небольшая по глубине, как правило, не более 2—3 м.

ТРЕЩИНЫ — разрывы в горных породах, перемещения по которым либо отсутствуют, либо имеют незначительную величину; разнообразны по происхождению.

ТРИАС [гр. *trias* — троичность; подразделяется на три отдела (эпохи)] — сокращенное название триасовой системы (периода). См. *Геохронологическая шкала*.

У

УГВ — сокращенное название, см. *Уровень грунтовых вод*.

УГОЛ ПАДЕНИЯ — см. *Падение*.

УГОЛ ПРОСТИРАНИЯ — см. *Простирание*.

УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ГРУНТА — отношение веса грунта, включая вес воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему, включая поры; численно равен произведению плотности на ускорение свободного падения; выражается в кН/м^3 , МН/м^3 . В учебно-нормативной литературе до 1980—1982 гг. термин *У. в. г.* обозначал плотность частиц грунта.

УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ЧАСТИЦ ГРУНТА — отношение веса сухого грунта к объему его твердой части. Численно равен произведению плотности частиц грунта на ускорение свободного падения, выражается в кН/м^3 , МН/м^3 .

УДЕЛЬНЫЙ ДЕБИТ — объем воды, получаемый из вертикального водозабора при понижении уровня воды на 1 м. См. *Дебит*.

УКЛОН ПОТОКА — см. *Гидравлический градиент*.

УПРУГОСТЬ — свойство горных пород восстанавливать свою форму и объем после прекращения действия внешних механических сил; количественно характеризуется модулем упругости.

УРОВЕНЬ ГРУНТОВЫХ (МЕЖПЛАСТОВЫХ) ВОД — след от пересечения поверхности грунтовых (межпластовых) вод вертикальной плоскостью.

УСАДКА — свойство глинистых грунтов уменьшать свой объем при высыхании; процесс, обратный набуханию.

УСТУП — более или менее крутой элемент рельефа, разделяющий поверхности, расположен на разной высоте (например, *У. террасы*) и может рассматриваться как разновидность склона. Происхождение *У.* различное: тектоническое, абразионное, эрозионное, техногенное и др. Син. — эскарп.

УСТЬЕ — место впадения водотока в водоем (море, озеро), другой водоток или место начала растекания этих вод по земной поверхности.

УСТЬЕ СКВАЖИНЫ — см. *Скважины*.

УЩЕЛЬЕ — узкая (чаще горная) крутосклонная долина реки, глубина которой обычно превышает ширину; в отличие от каньона и теснины, дно *У.* не полностью занято руслом.

ФАЗЫ СКЛАДЧАТОСТИ [гр. *phasis* — появление] — сравнительно кратковременные явления ускорения длительных и непрерывных тектонических движений, в особенности складкообразования (возникновение горных систем).

ФАНЕРОЗОЙ [гр. *phaneros* — явный + *zoe* — жизнь] — совокупность палеозойской, мезозойской и кайнозойской групп (эр). Отложения Ф. охарактеризованы достоверными органическими остатками.

ФАУНА [лат. *Fauna* — в римской мифологии богиня полей, лесов и стад] — 1) в геологии комплекс остатков ископаемых животных, заключенных в образе горных пород или собранных в обнажении, горной выработке; 2) совокупность видов животных, обитающих на определенной территории, сложившаяся эволюционным путем.

ФАЦИЯ [лат. *facies* — облик] — 1) горная порода или осадок, возникающие в определенной физико-географической, тектонической и т. д. обстановке (например, морская Ф., континентальная Ф.); 2) физико-географические условия осадконакопления со всеми особенностями среды.

ФИКСИЗМ [лат. *fixus* — твердый, неизменный, закрепленный] — геологическая гипотеза, исходящая из представлений об отсутствии значительных горизонтальных перемещений континентов и о решающей роли вертикально направленных тектонических движений в развитии земной коры. Ф. противопоставляется мобилизму.

ФИЛЬТРАЦИЯ [лат. *filtrum* — войлок] — движение подземных вод, газов, других жидкостей сквозь пористые или трещиноватые горные породы.

ФИЛЬТРЫ СКВАЖИН — устройства для закрепления стенок водоприемной части скважин (водозаборов), задерживающие частицы водонесной горной породы и пропускающие в водозабор воду.

ФИРН [нем. *Firn* от *firni* — прошлогодний, старый] — плотный зернистый снег, образующийся выше снеговой границы в результате преобразования снежного покрова под давлением вышележащих слоев, поверхностного таяния и вторичного замерзания просочившейся в глубину воды. См. *Лавина*.

ФЛЕКСУРА [лат. *flexura* — изгиб, искривление] — ступенеобразный (колонеобразный) изгиб слоев горных пород. См. *Складка*.

ФЛИШ [швед. *flysch* от нем. *flissen* — течь] — мощная толща осадочных горных пород морского происхождения, преимущественно обломочно-карбонатных, характеризующаяся ритмичным чередованием нескольких литологических разновидностей слоев (пески, известняки, глины и др.), гранулометрический состав которых уменьшается вверх по разрезу; ритмичность обусловлена мутьевыми потоками на дне котловин, где образуется Ф.

ФЛОРА [лат. *Flora* — в древнеримской мифологии богиня цветов и весны] — исторически сложившаяся совокупность видов растений, населяющих или населявших какую-либо территорию в различные геологические эпохи.

ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ [лат. *fluvius* — реки + *glacialis* — ледяной] — отложение потоков талых ледниковых вод ниже края ледника. Представлены слабосортированным песчано-галечниковым материалом с включением валунов, супесями, реже суглинками. Син. — водно-ледниковые отложения.

ФЛЮИД [лат. *fluidus* — текучий] — циркулирующие в земных глинах насыщенные газами растворы или жидкие и газообразные легкоподвижные компоненты магмы.

ФЛЮИДНАЯ ТЕМПЕРАТУРА [лат. *fluidus* — текучий] — температура, которой обладают перегретые газы и жидкие легкоподвижные компоненты магмы или циркулирующие в недрах земли растворы.

ФОРАМИНИФЕРЫ [лат. *foramen (foraminis)* — отверстие + *fero* — несу] — одноклеточные животные, преимущественно микроскопические (хотя наиболее крупные — до 10 см), заключенные в палочкообразные или спирально-завитые раковины из известкового, реже кремнистого вещества или из песчинок и минеральных обломков, сцементированных органическим цементом. Ф. образуют основную массу современных органических илов, встречаются в горных породах, начиная с кембрийского периода. Играют большую роль в стратиграфии и как руководящая фауна.

ФОРМАЦИИ [лат. *formatio* — образование, вид] — естественные и закономерные сочетания сообществ геологических тел, связанные общностью условий образования.

ФОРМЫ РЕЛЬЕФА [лат. *forma* — форма, вид, образ; *relief* — выпуклость] — природные тела, слагающие рельеф, отличающиеся целостностью строения. Подразделяются: по сложности — на простые (дюна, холм) и сложные (хребет, равнина); по внешним признакам — на положительные (гора, холм) и отрицательные (овраг, низменность); по происхождению — на тектонические, эрозионные, аккумулятивные, оползневые, эоловые, смешанные и др.; по размерам — от микро- до макроформ.

ФОРШОКИ [нем. *for* — пред + *schock* — потрясение] — относительно слабые землетрясения, предшествующие основному (наиболее сильному) толчку, причиной которых является разрыв сплошности земной коры в одной очаговой зоне.

ФРАКЦИИ [фр. *fraction* — доля, часть от лат. *fractio* — разламывание] — группы частиц осадочных горных пород и донных осадков, выделенные по какому-либо признаку: по размерам частиц (гранулометрические Ф.), по плотности частиц (тяжелая и легкая Ф.), по магнитным свойствам (магнитная и немагнитная Ф.) и т. д.

Х

ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА — термин, иногда употребляемый как синоним производства, экономики.

ХРУПКОСТЬ — свойство горных пород разрушаться после незначительных пластических деформаций.

Ц

ЦОКОЛЬ — нижняя часть цокольной террасы, сложенная коренными горными породами.

ЦОКОЛЬНАЯ ТЕРРАСА — терраса смешанного эрозионно-аккумулятивного типа, верхняя часть которой сложена аллювием, а нижняя — коренными горными породами.

ЦУНАМИ [японск.] — морские волны, образующиеся под действием землетрясений или вулканических извержений на морском дне или вблизи берегов; имеют длину — десятки и сотни километров, скорость — сотни км/ч, высоту у берегов — иногда до нескольких десятков метров.

Ч

ЧЕТВЕРТИЧНАЯ СИСТЕМА — верхняя система кайнозойской группы. См. *Геохронологическая шкала*.

ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ ПЕРИОД — последний период в геологической истории Земли, продолжающийся и поныне; подразделяется на плейстоцен и голоцен. В течение Ч. п. рельеф, климат, животный и растительный мир приняли современный облик. Син. — антропогенный период; квартер (термин употребляется редко).

ЧЕХОЛ ОСАДОЧНЫЙ — верхняя часть земной коры, состоящая главным образом из осадочных горных пород.

ЧИСЛО ПЛАСТИЧНОСТИ — разность между влажностями грунта на границах текучести и пластичности (раскатывания). Характеризует количественное содержание глинистых частиц в грунте. По Ч. п. глинистые грунты подразделяются на супеси, суглинки и глины.

Ш

ШАРНИР СКЛАДКИ — см. *Складка*.

ШАХТА [нем. *Schacht*] — в геологии — вертикальная или наклонная горная выработка большого поперечного сечения (2 × 3 м, 3 × 4 м).

ШАХТНЫЙ КОЛОДЕЦ — вертикальный или наклонный водозабор (круглый или прямоугольный) большого поперечного сечения и относительно небольшой глубины (в отличие от скважины и колодца).

ШЕЛЬФ [англ. *shelf* — полка, мель] — выровненная часть подводной окраины материка, прилегающая к берегам суши и характеризующаяся общим с ней геологическим строением.

ШКАЛА ТВЕРДОСТИ — син. Шкала Мооса.

ШКАЛЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ [лат. *scala* — лестница; гр. *seismos* — землетрясение; лат. *intensio* — напряжение, усиление] — см. *Сейсмические шкалы*.

ШЛЕЙФ [нем. *Schleife*] — полоса рыхлых отложений, окаймляющих подножие какой-либо возвышенности. Состоит из обломочного материала, снесенного со склонов временными потоками, реками, плоскостным смывом, силами гравитации.

ШЛИФ [нем. *Schliff* от *schlafen* — точить, шлифовать] — искусственно изготовленная тончайшая пластинка минерала или горной породы, предназначенная для изучения под микроскопом.

ШПУР [нем. *Spur* — след, отпечаток] — цилиндрическая полость диаметром до 75 мм, длиной до 5 м, пробуренная в горной породе для размещения заряда взрывчатого вещества и других целей.

ШТАМП [нем. *Stampfe* от лат. *stampa* — печать] — квадратная или круглая плита, служащая для передачи давления на грунт при полевых испытаниях грунта методом пробных (опытных) нагрузок.

ШТОК [нем. *Stock* — палка, ствол] — форма залегания магматических полуглубинных или жильных горных пород в виде относительно небольших тел неправильной формы (приближающейся к цилиндрической), обычно крутопадающих.

ШТОЛЬНЯ [нем. *Stollen* — туннель] — горизонтальная или наклонная подземная горная выработка, имеющая непосредственный выход на земную поверхность. Наиболее эффективна на участках с расчлененным рельефом.

ШТУФ [нем. *Stufe* — членить] — кусок породы или минерала неправильной формы, предназначенный для исследования или препарирования для коллекции.

ШУМ — изменение нормального равновесного состояния атмосферного воздуха, возникающее в результате распространения в нем звуковых колебаний, которое создает неприятные, вредные для здоровья условия животным, растениям и человеку.

ШУРФ [нем. *Schurf*] — вертикальная, реже слегка наклонная горная выработка прямоугольного сечения в плане, проводимая с поверхности земли. Неглубокий Ш. круглого сечения — дудка.

Ш

ЩИТ — см. *Платформа*.

Э

ЭКЗАРАЦИЯ [лат. *exaratio* — выпаживание] — разрушение при движении ледника вмерзшими в лед обломками горных пород ледникового ложа с последующим выносом продуктов разрушения. Син. — ледниковое выпаживание.

ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ [гр. *exo* — вне, снаружи + *...генный*] — процессы геологические и инженерно-геологические, происходящие на поверхности Земли и в самых верхних частях литосферы и обусловленные внешними по отношению к Земле источниками энергии (солнечная радиация и др.), силой тяжести, жизнедеятельностью растений и животных, взаимодействием литосферы, гидросферы, деятельностью подземных и поверхностных вод, хозяйственной деятельностью человека.

ЭКЗОГЕОДИНАМИКА [гр. *exo* — вне, снаружи + *geo...* + *dynamis* — сила] — научное направление инженерной геологии, изучающее движе-

ние и изменение геологической среды в физическом времени, обусловленное ее взаимодействием с внешними средами (экзогенные геологические процессы и некоторые проявления эндогенных на поверхности Земли и вблизи нее прямо или косвенно влияющие на хозяйственную деятельность человека), пространственные закономерности проявления геологических процессов.

ЭКОЛОГИЯ [гр. *oikos* — дом, место обитания, среда] — наука о взаимоотношениях между живыми организмами и окружающей их средой.

ЭКОСИСТЕМА — диалектическая совокупность живых организмов и среды с относительно одинаковыми условиями, в которых эти организмы обитают. Это стабильная термодинамическая система, открытая в пространстве и времени.

ЭКСПЕРТИЗА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ [лат. *expertus* — опытный] — 1) исследование (обследование) специалистом-экспертом какого-либо объекта, технологического процесса, проекта и т. д. с целью установления их фактического или возможного влияния на геологическую среду, а также влияния геологической среды на прочность, устойчивость или эксплуатационные качества как проектируемых, так и уже ранее существовавших результатов деятельности человека с представлением мотивированного заключения и, в случае необходимости, рекомендаций; 2) изучение программ, проектов и отчетных документов по инженерно-геологическим изысканиям или других инженерно-геологических материалов с целью установления достаточности и качества инженерно-геологической информации, оптимальности ее получения. По результатам Э. и.-г. составляется мотивированное заключение.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ — частная форма проявления электромагнитного поля; создается электрическими зарядами или переменным магнитным полем.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ — особая форма материи. Посредством Э. п. осуществляется взаимодействие между заряженными частицами.

ЭЛЕКТРОЗОНДИРОВАНИЕ [гр. *elektron* — смола, янтарь; обладающий свойством электризации + фр. *sender* — исследовать] — см. *Электроразведка*.

ЭЛЕКТРОПРОФИЛИРОВАНИЕ — см. *Электроразведка*.

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА — группа геофизических методов получения инженерно-геологической информации, основанных на определении электрических свойств горных пород (геологической среды) в естественных или искусственно создаваемых электрических (электромагнитных) полях. С учетом того, что электрические свойства (удельное электрическое сопротивление, диэлектрическая проницаемость) меняются с изменением состава, плотности, структуры, водонасыщенности геологической среды, методы Э. позволяют определить границы геологических тел (в том числе погребенные речные долины, оползневые тела, карстовые полости и др.), зоны трещиноватости, положения уровня грунтовых вод, поверхности скольжения оползней и решать другие инженерно-геологические задачи.

Существует несколько методов Э., отличающихся техникой проведения полевых работ, родом используемого искусственного электрического поля (постоянное и переменное, в том числе низко-, средне- и высокочастотные токи), применяемым оборудованием. Основными разновидностями Э. являются вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электропрофилирование (ЭП), электрокаротаж скважин (ЭК), круговое вертикальное зондирование (КЗ). Метод ВЭЗ предполагает определение удельного электрического сопротивления на различной глубине под точкой зондирования, что дает возможность изучить изменение параметров геологической среды по вертикали. В случае ЭП удельное электрическое сопротивление измеряется на определенной глубине (глубинах) вдоль заданного направления.

ЭЛЕМЕНТ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ [лат. *elementum* — первоначальное вещество, стихия] — некоторый объем грунта одного и того же номенклатурного вида при соблюдении одного из двух условий: характеристики грунта изменяются в пределах Э. и.-г. закономерно; существующая закономерность в изменении характеристик такова, что ею можно пренебречь.

ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЬЕФА — точки, линии и поверхности, ограничивающие формы рельефа (вершина, перевальная точка, водораздельная линия, уступ террасы и т. д.).

ЭЛЮВИЙ, ЭЛЮВИАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ [лат. *eluo* — вымываю] — продукты выветривания горных пород, оставшиеся на месте их образования.

ЭМАНАЦИОННЫЙ МЕТОД [лат. *emanatio* — истечение; старое название элемента радона — эманация] — метод получения инженерно-геологической информации, основанный на замере искусственно вызываемого эманирования — выделение радиоактивных изотопов радона из горных пород, содержащих изотопы радия.

ЭНДОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ [гр. *endon* — внутри + ...*генный*] — процессы геологические, обусловленные главным образом внутренними силами (внутренней энергией) Земли (тектонические, вулканические и др.).

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КЛАСС ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ — см *Землетрясения*.

ЗОЛОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ [в древнегреческой мифологии Эол (*Aiolos*) — повелитель ветров] — песчаные, глинистые, лёссовые отложения, образовавшиеся в результате накопления, уплотнения и цементации перенесенных ветром частиц.

ЗОЛОВЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА — формы рельефа, возникающие в результате деятельности ветра: корразии, дефляции, аккумуляции. К аккумулятивным формам относятся дюны, барханы, гряды, к корразионно-дефляционным — котловины и ниши выдувания, золовые столбы и столы, ячеистые и сотовые поверхности и др.

ЭОН (гр. *aiou* — век, эпоха, длительный промежуток времени) — геохронологическое подразделение, объединяющее несколько эр. Например, фанерозой.

ЭОНОТЕМА — наиболее крупное подразделение стратиграфической шкалы, отвечающее длительному этапу развития Земли — зону.

ЭОЦЕН [гр. *eos* — заря + *kainos* — новый; название связано с первым массовым появлением в Э. новых форм животного мира — млекопитающих] — сокращенное название среднего отдела (эпохи) палеогена. См. *Геохронологическая шкала*.

ЭПЕЙРОГЕНЕЗ, ЭПЕЙРОГЕНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ [гр. *epi-ros* — суша + ...*генез*] — медленные вековые неравномерные поднятия и опускания больших площадей земной коры, не вызывающие процессов горообразования. Син. — колебательные движения земной коры.

ЭПИГЕНЕЗ (гр. *epi* — на, сверх, после + ...*генез*) — природные изменения (вторичные) осадочных горных пород после их образования.

ЭПИЦЕНТР [гр. *epi* — на, сверх + лат. *centrum* от гр. *kentron* — острие, средоточие; находится над гипоцентром] — место наиболее сильных колебаний (сотрясений) на поверхности земли при землетрясении.

ЭПОХА [гр. *epoche* — буквально остановка] — единица геохронологической шкалы, соответствующая времени образования отложений отдела; часть геологического периода.

ЭРА [лат. *aere* — буквально исходное число] — наибольшая единица геохронологической шкалы, отвечает крупному этапу в геологической истории Земли и в развитии на ней; промежуток времени, в течение которого образовались горные породы, составляющие группу (эратему).

ЭРАТЕМА — син. термина группа: введен относительно недавно. См. *Геохронологическая шкала*.

ЭРОЗИЯ [лат. *erosio* — разъедание, размывание] — процесс разрушения горных пород (грунтов, почв) водными потоками. Проявляется в виде: а) механического размывания, перехода во взвесь и уноса твердых частиц потоком; б) истирания и обтачивания ложа потока переносимыми водой частицами (корразия); в) химического растворения горных пород водой (коррозия); г) возбуждения электрических зарядов противоположного знака в системе «вода — твердые частицы», что способствует суспензированию самых мелких фракций. Различают Э. плоскостную (поверхностную) — смывающую деятельность дождевых и талых вод (смыв со склонов), и линейную — размывающую деятельность постоянных или временных сосредоточенных водных потоков (образование оврагов, речных долин, балок). Линейная Э. подразделяется на глубинную или донную, в том числе регрессивную (пятающуюся), которая, распространяясь от низовьев водотока вверх по течению, формирует продольный профиль равновесия, и боковую, приводящую к расширению дна долины. Иногда термин Э. применяется как синоним денудации вообще (ветровая Э., морская Э. и т.д.).

ЭСКАРП [фр. *escarpe* — откос; англ. *scarp* — обрыв, уступ] — син. — уступ.

ЭСТУАРИЙ [лат. *aestuarium* — затопляемое устье реки] — однорукавное воронкообразное устье реки, расширяющееся в сторону моря.

ЭФФЕКТИВНЫЕ ДИАМЕТРЫ — d_{10} , d_{60} , см. *Степень неоднородности*.

Ю

ЮВЕНИЛЬНАЯ ГИПОТЕЗА [лат. *juvenilis* — юный] — гипотеза, объясняющая происхождение подземных вод как результат ее выделения при остывании и дегазации магмы.

ЮРА [Jura — горы во Франции и Швейцарии] — сокращенное название юрской системы и периода. См. *Геохронологическая шкала*.

Я

ЯВЛЕНИЕ — 1) та или иная форма обнаружения каких-либо свойств любых, в том числе геологических образований; 2) результат или промежуточная фаза каких-либо процессов.

ЯВЛЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ — формы проявления, результаты процессов геологических, которые можно увидеть, ощутить, измерить.

ЯДРО ЗЕМЛИ — центральная геосфера.

ЯДРО СКЛАДКИ — см. *Складка*.

ЯЗЫК ЛЕДНИКОВЫЙ — подвижная часть горного ледника, расположенная ниже снеговой границы (линия) в области абляции, занимающая часть ледниковой долины.

ЯРУС — подразделение общей стратиграфической шкалы, объединяющее отложения, образовавшиеся в течение одного геологического века. Представляют часть отдела. См. *Геохронологическая шкала*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Н.А. Стихийные явления в природе.— М.: Мысль, 1988.
2. Ананьев В.П., Коробкин В.И. Инженерная геология.— М.: Высшая школа, 1973.
3. Ананьев В.П., Передельский Л.В. Инженерная геология и гидрогеология.— М.: Высшая школа, 1980.
4. Ананьев В.П., Потапов А.Д. Основы геологии, минералогии и петрографии.— М.: Высшая школа, 1999.
5. Ананьев В.П., Потапов А.Д. Инженерная геология. 2-е изд.— М.: Высшая школа, 2000.
6. Белый Л.Д. Инженерная геология.— М.: Высшая школа, 1985.
7. Васич Милинко (Vasih Milinko) Инженерска геология.— Нови Сад.: Университет. Факультет строительства, 2000.
8. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения.— М.: Наука, 1965.
9. Вернадский В.И. Биосфера.— М.: Мысль, 1967.
10. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии.— М.: Изд-во МГУ, 1991.
11. Вильямс В.Р. Почвоведение с основами земледелия.— М.: Сельхозгиз, 1936.
12. Горькова И.М. Теоретические основы оценки осадочных пород в инженерно-геологических целях.— М.: Наука, 1966.
13. Денисов Н.Я. Инженерная геология и гидрогеология.— М.: Госстройиздат, 1957.
14. Денисов Н.Я. Инженерная геология.— М.: Высшая школа, 1960.
15. Дуллер И.В. Классификация грунтов.— М.: Изд-во МГСУ, 1995.
16. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Инженерная геология и охрана окружающей среды.— Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1993.
17. Коломенский Н.В., Якушева А.Ф. Основы геологии.— М.: Высшая школа, 1991.
18. Маслов Н.Н. Инженерная геология.— М.: Госстройиздат, 1957.
19. Попов И.В. Естественная инженерно-геологическая классификация пород как основа выбора характеристик их физико-технических свойств.— Ж-л «Проблемы советской геологии», 12, 1937.
20. Потапов А.Д. Экология.— М.: Высшая школа, 2001.
21. Потапов А.Д., Паушкин Г.А. Основы генетического грунтоведения.— М.: Изд-во МГСУ, 1995.
22. Потапов А.Д., Паушкин Г.А. Специальные вопросы инженерной геологии.— М.: Изд-во МГСУ, 1995.
23. Некоторые вопросы экологии атмосферы и защиты ее от разрушения / Потапов А.Д., Пермяков Б.А., Орлова Н.Ю. и др.— М.: МИСИ, 1991.
24. Потапов А.Д., Ревелис И.Л. Инженерно-геологические понятия и термины.— М.: Изд-во МГСУ, 1992.
25. Потапов И.И. Геология и экология сегодня.— Ростов-на-Дону: Изд-во «МП Книга», 1999.
26. Правдивец Ю.П. Инженерно-мелиоративные сооружения.— М.: Изд-во АСВ, 1998.
27. Рухин Л.Б. Основы литологии.— Л.: Недра, 1969.
28. Сергеев Е.М. Общее грунтоведение.— М.: Изд-во МГУ, 1952.

29. Сергеев Е.М., Приклонский В.А., Панюков П.И., Белый Л.Д. Общая инженерно-геологическая классификация горных пород и почв.—Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам и методам их изучения. Т. 2.— М.: МГУ, 1957.
30. Сергеев Е.М. Грунтоведение.— М.: Изд-во МГУ, 1959.
31. Сергеев Е.М. Грунтоведение.— М.: Изд-во МГСУ, 1971.
32. Сергеев Е.М. Инженерная геология.— М.: Изд-во МГУ, 1979.
33. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Литосфера Земли. Ч. 1, 2, 3.— М.: ВИНТИ, 1978, 1983.
34. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Тектоника с основами геодинамики.— М.: Изд-во МГСУ, 1995.
35. Чернышев С.Н. Трещины горных пород.— М.: Наука, 1983.
36. Чернышев С.Н., Ревелис И.Л., Чумаченко А.Н. Задачи и упражнения по инженерной геологии (изд. 1-е, 2-е, 3-е).— М.: Высшая школа, 1984.
37. Шмидт О.Ю. Метеоритная теория происхождения Земли и планет.— Докл. АН СССР, 1944, т. 45, 6.
38. Экология, охрана природы и экологическая безопасность. / Под общ. ред. В.И. Данилова—Данильяна.— М.: Изд-во МНЭПУ, 1997.
39. СНиП 11-8-78, ч. II, гл. 8. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях.— М., 1979.
40. СНиП 2.02.01—83. Основания зданий и сооружений.— М., 1995.
41. СНиП 11-7—81, ч. II, гл. 7. Строительство в сейсмических районах.— М., 1982.
42. СНиП II-02—96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.— М., 1996.
43. СНиП 2.01.15—90. Инженерная защита территорий от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования.— М., 1991.
44. СНиП 2.06.15—85. Инженерная защита территорий от затопления и подтопления.— М., 1986.
45. ГОСТ 21.302—96. СПДС. Условные графические обозначения в документации по инженерно-геологическим изысканиям.— М., 1996.
46. ГОСТ 20522—96. Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний.— М., 1995.
47. ГОСТ 25100—95. Грунты. Классификация.— М., 1995.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
Раздел I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИИ.	9
Глава 1. Происхождение, форма и строение Земли	9
Глава 2. Тепловой режим земной коры.	24
Глава 3. Минеральный и петрографический состав земной коры	25
Глава 4. Геологическая хронология земной коры	95
Глава 5. Движения земной коры	102
Глава 6. Рельеф поверхности земной коры	125
Раздел II. ГРУНТОВЕДЕНИЕ	135
Глава 7. Общие сведения и классификация грунтов	135
Глава 8. Основные категории состава, строения и состояния грунтов различного генезиса	140
Глава 9. Методы определения основных показателей свойств грунтов	189
Глава 10. Характеристика классов грунтов	201
Глава 11. Техническая мелиорация грунтов	268
Раздел III. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ.	278
Глава 12. Общие сведения о подземных водах	278
Глава 13. Водные свойства горных пород	281
Глава 14. Свойства и состав подземных вод	282
Глава 15. Характеристика типов подземных вод	288
Глава 16. Движение подземных вод	298
Глава 17. Режим и запасы подземных вод	322
Глава 18. Подземные воды России	329
Глава 19. Охрана подземных вод	330
Раздел IV. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.	334
Глава 20. Процесс выветривания	335
Глава 21. Геологическая деятельность ветра	343
Глава 22. Геологическая деятельность атмосферных осадков	347
Глава 23. Геологическая деятельность рек	359
Глава 24. Геологическая деятельность моря	369
Глава 25. Геологическая деятельность в озерах, водохранилищах, болотах	377
Глава 26. Геологическая деятельность ледников	383
Глава 27. Движение горных пород на склонах рельефа местности	389

Глава 28. Суффозионные и карстовые процессы	407
Глава 29. Плывуны.	418
Глава 30. Просадочные явления в лессовых породах.	422
Глава 31. Деформации горных пород над подземными горными выработками	429
Р а з д е л V. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ.	433
Глава 32. Инженерно-геологические исследования для строительства	433
Глава 33. Месторождения природных строительных материалов.	451
Глава 34. Инженерно-геологические изыскания для строительства зданий и сооружений	456
Р а з д е л VI. ОХРАНА ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ	470
Глава 35. Охрана природной среды как общечеловеческая задача.	470
Глава 36. Управление охраной природной среды, мониторинг и рекультивация земель.	481
Заключение	487
Геологические термины и определения	488
Литература.	568

Учебное издание

Ананьев Всеволод Петрович
Потапов Александр Дмитриевич

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Редактор *Е.Н. Розкова*
Художник *В.В. Жук*
Художественный редактор *А.Ю. Войткевич*
Технический редактор *Н.И. Тростянская*
Компьютерная верстка *Н.И. Журавлевой*
Корректор *Г.Н. Петрова*

Лицензия ИД № 06236 от 09.11.01

Изд. № РЕНТ-190. Подп. в печать 14.09.04.
Формат 60 x 88¹/₁₆. Бум офсетн. Гарнитура «Ньютон». Печать офсетная.
Объем 35.28 усл. печ. л., 36,78 усл. кр.-отт.
Тираж 3000 экз. Заказ № 4393

ФГУП «Издательство «Высшая школа».
127994, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Тел. (095) 200-04-56
<http://www.v-shkola.ru> E-mail: info@v-shkola.ru

Отдел реализации: тел.: (095) 200-07-69, 200-59-39, факс: (095) 200-03-01
E-mail: sales@v-shkola.ru

Отпечатано на ФГУП ордена «Знак Почета»
Смоленская областная типография им. В.И. Смирнова.
214000, г. Смоленск, пр-т им. Ю. Гагарина, 2.