

ПРОФТЕХОБРАЗОВАНИЕ



ГОРНОЕ ДЕЛО

В.М. КОНОНОВ
А.М. КРЫСЕНКО
В.М. ШВЕЦ

ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ



ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

В. М. КОНОНОВ,
А. М. КРЫСЕНКО,
В. М. ШВЕЦ

ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ, ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Одобрено Ученым советом Государственного комитета Совета Министров СССР по профессионально-техническому образованию в качестве учебного пособия для средних профессионально-технических училищ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1978

ББК 26.3
К64



К $\frac{20806-212}{052(01)-78}$ 6-78

© Издательство «Высшая школа», 1978 г.

ВВЕДЕНИЕ

Бурение скважин является одним из наиболее эффективных методов осуществления геологоразведочных работ, обеспечивающее вскрытие и всестороннее (геологическое, гидрогеологическое, инженерно-геологическое) изучение разреза горных пород на большую глубину. Скважины бурятся также для эксплуатации месторождений полезных ископаемых (твердых, жидких и газообразных), для осушения избыточно увлажненных пород, изменения их физико-механических и водно-физических свойств и решения многих других практических и георегических задач.

Правильное бурение скважин, успешное и эффективное решение поставленных перед буровыми работами задач невозможны без знания основ геологии, гидрогеологии и инженерной геологии, без учета специфики и требований геолого-гидрогеологических и инженерно-геологических исследований.

Поэтому основной целью настоящего учебного пособия является ознакомление учащихся с основными положениями общей геологии, гидрогеологии и инженерной геологии, с методами изучения геолого-гидрогеологических и инженерно-геологических условий верхней части земной коры, спецификой проведения геолого-гидрогеологических и инженерно-геологических исследований и требованиями к документации буровых и других геологоразведочных работ.

Геология — наука о Земле, о ее составе, строении и развитии, о геологических процессах, протекающих на Земле и в ее оболочках (сферах). Основным объектом изучения геологии является литосфера — наружная оболочка Земли, сложенная твердыми горными породами. Она служит источником минерального сырья, вместилищем нефти, газа, подземных вод и средой для строительства различных инженерных сооружений.

Начало накопления знаний о строении земной коры и различных геологических процессах восходит к истокам цивилизации. Люди использовали каменные материалы, руды, соль, подземную воду и другие природные ресурсы уже в древнейшие эпохи.

Развитие цивилизации зависело от того, какие богатства природы, богатства земных недр люди умели находить и использовать. Даже в названиях: «каменный век», «бронзовый век», «железный век» — отражено это умение использовать камни и металлы в качестве оружия, орудия труда, сырья, строительных материалов.

В наше время, в век атома и искусственных спутников Земли, значение природных ресурсов земных недр не только не уменьши-

лось, но многократно возросло. Дальнейшее развитие минерально-сырьевой базы в нашей стране и обеспечение ее постоянного роста являются важнейшими задачами, решение которых необходимо для создания материально-технической базы коммунизма. Успешному решению этих задач в значительной мере способствует развитие геологии и ее основных научных отраслей и подразделений.

Геология является сложной комплексной наукой, в недрах которой сформировались и развиваются несколько циклов научных дисциплин о Земле, изучающих различные ее геологические аспекты. Вещественный состав Земли и ее недр изучается науками геохимического цикла: кристаллографией (наукой о кристаллах), минералогией (наукой о минералах), петрографией (наукой о горных породах), почвоведением (наукой о почвах). В совокупности эти науки образуют *геохимию*, занимающуюся изучением вещественного состава земных недр, распределением, взаимодействием и перемещением ее химических элементов.

Происходящие в недрах литосферы и на ее поверхности геологические процессы изучаются науками, составляющими *динамическую геологию*. В нее входят: геотектоника (наука об условиях залегания горных пород, о движении земной коры и ее деформациях), учение о магматизме, сейсмология (наука о землетрясениях), учение о метаморфизме (изменениях горных пород в недрах Земли), учение о выветривании, учение о седиментации (накоплении осадков) и другие научные отрасли геологии.

История развития Земли и органической жизни на ней изучается также циклом наук, образующих *историческую геологию*. В нее входят стратиграфия — учение о слоях осадочных пород, палеонтология — учение об ископаемых остатках организмов, палеогеография — учение о физико-географической обстановке в прошлом, собственно историческая геология и др.

Важнейшее практическое значение для изучения и народнохозяйственного использования земных недр и для обеспечения минерально-сырьевой базы народного хозяйства имеют науки, составляющие практические ветви геологии: учение о полезных ископаемых, региональная геология, учение о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых и др.

Гидрогеология (геология подземных вод) — наука о подземных водах земной коры. Она изучает геологическую роль, происхождение, формирование, закономерности распространения и движения подземных вод, а также их физические и химические свойства. Гидрогеология возникла и развивалась как наука, удовлетворяющая запросы практики и народного хозяйства. Сейчас она превратилась в своеобразную самостоятельную науку, призванную способствовать наиболее рациональному и комплексному использованию подземных вод и других минерально-сырьевых ресурсов.

Самостоятельными разделами гидрогеологии являются:

общая гидрогеология — изучает происхождение подземных вод, условия их залегания, движение, физические свойства и химический состав;

динамика подземных вод — рассматривает закономерности движения, режима и баланса подземных вод под влиянием естественных и искусственных факторов, разрабатывает методы количественной оценки и управления движением подземных вод;

методика гидрогеологических исследований — занимается методами и приемами проведения гидрогеологических исследований для решения различных народнохозяйственных задач;

гидрогеология месторождений полезных ископаемых — изучает подземные воды применительно к задачам геолого-промышленной оценки месторождений, промышленного их освоения и разработки;

учение о минеральных, промышленных и термальных подземных водах — рассматривает вопросы формирования месторождений минеральных, промышленных и термальных вод и их практического использования;

региональная гидрогеология — изучает закономерности распространения подземных вод в различных физико-географических условиях;

мелиоративная гидрогеология — занимается вопросами изучения и улучшения гидрогеологических условий территорий для их наиболее рационального сельскохозяйственного освоения (орошения, осушения, обводнения).

Из краткого рассмотрения содержания разделов гидрогеологии видно, что современная гидрогеология из науки, изучающей природные процессы, становится наукой, управляющей этими процессами и ставящей их на службу обществу.

Инженерная геология — наука о свойствах горных пород, физико-геологических процессах и их изменениях под воздействием естественных и искусственных факторов. Она изучает горные породы (грунты) как основания или среду для возведения инженерных сооружений и их последующей эксплуатации, разрабатывает прогнозы взаимодействия инженерных сооружений и геологической среды и мероприятия, обеспечивающие устойчивость и нормальную эксплуатацию проектируемых сооружений. Инженерная геология тесно связана с гидрогеологией, так как подземные воды оказывают большое влияние на строительные свойства горных пород, развитие различных физико-геологических явлений, на условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Отсюда становится понятно, насколько велико значение этой науки и выполняемых инженерно-геологических и гидрогеологических исследований для обоснования различных видов строительства — гражданского, промышленного, оборонного, гидротехнического, мелиоративного, транспортного и др.

В настоящее время инженерная геология развивается как комплексная наука. Она включает следующие разделы:

грунтоведение — изучает состав, строение, состояние и свойства грунтов как основания и среды для возведения инженерных сооружений, разрабатывает методы улучшения свойств пород для строительных целей;

механика грунтов — рассматривает механические свойства грунтов и закономерности их поведения при воздействии инженерных сооружений, разрабатывает методы инженерных прогнозов;

методика инженерно-геологических исследований — изучает методы и приемы организации и проведения инженерно-геологических исследований для решения различных народнохозяйственных задач;

региональная инженерная геология — рассматривает и оценивает инженерно-геологические условия отдельных территорий и регионов, разрабатывает методы регионального изучения и оценки инженерно-геологических условий применительно к различным видам строительства.

Большое значение имеют молодые разделы инженерной геологии — *мерзлотведение* и *механика мерзлых грунтов*, занимающиеся соответственно изучением строения, состава и свойств мерзлых грунтов и их поведения при воздействии инженерных сооружений. Важность этих разделов обусловлена тем, что зона развития многолетнемерзлых пород занимает около половины территории нашей страны.

Для изучения геологического строения, гидрогеологических и инженерно-геологических условий участков земной коры при решении различных народнохозяйственных задач выполняется комплекс геолого-гидрогеологических, инженерно-геологических и других исследований. В него обычно входят: 1) сбор, обобщение и анализ материалов предыдущих исследований, 2) рекогносцировочные комплексные или специализированные (гидрогеологические, инженерно-геологические и др.) исследования, 3) комплексные или специализированные съемки и картирование, 4) разведочные работы (бурение скважин, проходка шурфов, шахт и других разведочных выработок), 5) полевые опытно-фильтрационные и инженерно-геологические работы, 6) лабораторные работы, 7) моделирование, 8) стационарные гидрогеологические и инженерно-геологические наблюдения, 9) топо-геодезические работы, 10) геофизические исследования.

При решении отдельных задач возникает необходимость в применении гидрологических, балансово-гидрометрических, аэроландшафтных, гидрогеохимических ядерно-геофизических и других специальных методов исследований, что повышает не только геологическую информативность выполняемых работ, но и их экономическую эффективность.

Одной из важнейших задач при проектировании и проведении геологоразведочных работ является выполнение мероприятий, способствующих рациональному использованию и охране всех природных ресурсов (минерально-сырьевых, водных, земельных и др.). Правила и порядок проведения геологоразведочных работ в нашей стране регламентируются законами об охране природы, водным и земельным законодательствами, законодательством о недрах и действующими инструкциями.

В решениях XXIV и XXV съездов КПСС и программе построения коммунистического общества геологии, гидрогеологии и инженерной

геологии отводится существенная роль в обеспечении минерально-сырьевой базы страны, ускорении научно-технического прогресса, широком развитии гидротехнического, мелиоративного, гражданского, промышленного и других видов строительства, в обеспечении рационального использования и охраны водных, земельных, минерально-сырьевых и других природных ресурсов, в неуклонном повышении объема и эффективности сельскохозяйственного производства. Как и во всех других областях народного хозяйства, одной из основных задач, поставленных XXV съездом партии, является существенное повышение качества выполнения и эффективности геологоразведочных работ.

РАЗДЕЛ I

ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ

§ 1. Форма, размеры, геосферы Земли и строение земной коры

Форма и размеры Земли. Земля — одна из планет Солнечной системы. Солнечную систему составляют Солнце и девять планет, которые вокруг него обращаются. В Солнечную систему входят также многочисленные мелкие тела — астероиды; у самого крупного астероида — Цереры — диаметр всего 800 км.

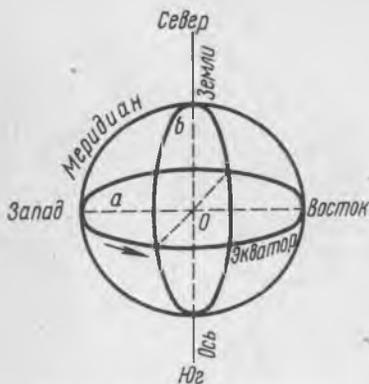


Рис. 1. Эллипсоид вращения

Земля имеет форму шара, сжатого с полюсов. Такая фигура называется эллипсоидом вращения, или сфероидом (рис. 1). Сфероид имеет две оси: большую (или экваториальную) a длиной 12 756 км и малую (или полярную) b длиной 12 714 км; она является осью вращения Земли.

Величина $(a - b)/a$ носит название сжатия эллипсоида и равна $1/298,3$. Из-за небольшой величины сжатия Земли ее форму часто называют шарообразной.

Линию пересечения поверхности Земного шара плоскостью, проходящей через центр Земли (точку O на рис. 1) перпендикулярно оси ее вращения, называют *экватором*. Экватор делит Земной шар на два полушария — северное и южное.

Если Земной шар пересекать плоскостями, параллельными экватору, то получим линии пересечения их с земной поверхностью, называемые *параллелями*. Линии пересечения поверхности Земного шара плоскостями, проведенными через ту или иную точку земной поверхности и ось вращения Земли, называются *меридианами*. Другими словами, меридианы представляют собой линии, идущие по земной поверхности от северного полюса к южному.

Параллели и меридианы составляют географическую (градусную) сетку, которая позволяет определять положение любой точки на Земном шаре при помощи географических координат (долготы и широты).

Земной сфероид имеет следующие размеры: длина экватора 40 075,7 км, длина меридиана 40 008,6 км, площадь поверхности 510 млн. км², объем 1083 млрд. км³. Масса Земли равна $6 \cdot 10^{24}$ кг.

Истинная форма Земли несколько отличается от эллипсоида вращения и приближается к геоиду. Геоид — это поверхность, направление силы тяжести к которой везде перпендикулярно. Форма геоида совпадает с поверхностью морей и океанов; на суше же в связи с неровностями земной поверхности геоид незначительно отличается от нее в ту или иную сторону (до 200 км).

Геосферы Земли. Земля состоит из нескольких концентрических оболочек, которые называются *геосферами*. Выделяют внешние и внутренние земные оболочки. К внешним оболочкам относятся магнитосфера, атмосфера и гидросфера, к внутренним — земная кора, мантия и ядро Земли (рис. 2).

Магнитосфера и верхние слои атмосферы изучались в основном в последние два десятилетия при помощи искусственных спутников Земли и специальных метеорологических и геофизических ракет.

Внутренние геосферы изучены еще недостаточно. Непосредственному изучению доступна пока только верхняя часть земной коры до глубины 8—10 км. Представление о строении более глубоких слоев Земли получают по геофизическим данным, определяя скорость продольных и поперечных упругих волн. Эти упругие волны искусственно вызываются при помощи взрывов или возникают в толще Земли при землетрясениях. Выводы о строении внутренних слоев Земли делают также путем изучения метеоритов и опытного изучения свойств пород при высоких температуре и давлении. В последние годы представления о строении Земли дополняются изучением других планет Солнечной системы (Луны, Марса, Венеры) при помощи космических станций.

Самой верхней и протяженной оболочкой Земли является *магнитосфера* — область околоземного пространства, где напряженность магнитного поля Земли превышает напряженность внешних электромагнитных полей. Магнитосфера имеет сложную, непостоян-

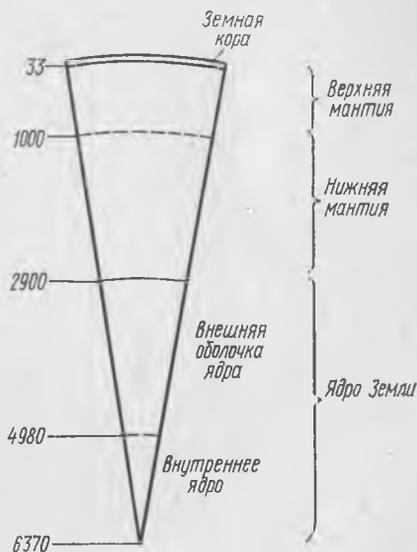


Рис. 2. Внутреннее строение (оболочки) Земли

ную по размерам и конфигурации форму, зависящую от интенсивности потока заряженных частиц, идущих от Солнца. Магнитосфера простирается на расстояние до 13—14 радиусов Земли, т. е. до 80—90 тыс. км.

Атмосфера — это воздушная оболочка Земли, окружающая твердую Землю и вращающаяся вместе с ней.

Атмосфера представляет собой смесь газов, состав которой несколько изменяется с высотой. Вблизи поверхности Земли и до высоты 100 км состав атмосферы следующий: азота — 78,09%, кислорода — 20,95%, аргона — 0,93%, углекислого газа — 0,03%. Такие газы, как водород, неон, гелий, криптон, ксенон, озон и др., содержатся в воздухе в ничтожных количествах. В воздухе присутствуют также водяные пары, содержание которых — величина переменная и определяется температурой воздуха, скоростью ветра и другими метеорологическими факторами.

Общая высота атмосферы — более чем 1300 км.

Атмосфера делится на несколько слоев; это деление основано главным образом на изменении в ней температуры с высотой (рис. 3).

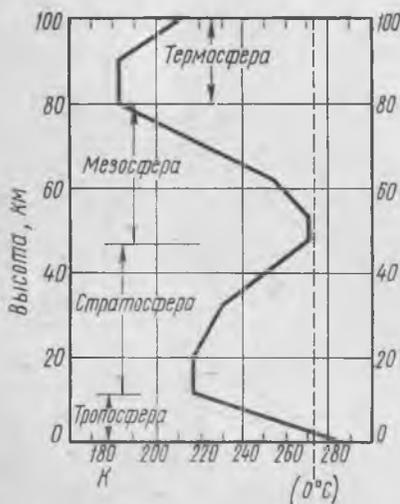


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры в атмосфере и связанное с этим разделение ее на слои

Нижний слой атмосферы называется тропосферой и содержит около 80% всей ее массы. Высота тропосферы на экваторе 16—18 км, в полярных широтах 8—10 км. Температура тропосферы понижается с высотой в среднем на 0,6°C на каждые 100 м. На высоте 8—10 км температура летом равна —45°C, а зимой —60°C.

Над тропосферой до высоты 50—55 км расположена стратосфера, масса которой составляет почти 20% массы атмосферы. Температура стратосферы до высоты 25—30 км несколько падает, затем начинает повышаться и на высоте 55 км приблизительно равна —3°C.

Над стратосферой находится мезосфера (до высоты 80 км), в которой температура с высотой опять падает (до —70 — —90°C у верхней границы), термосфера (до высоты 800—1000 км) и экзосфера (выше 800—1000 км). В термосфере до высоты 300 км температура быстро возрастает, достигая более 700°C, затем остается постоянной. Экзосфера сильно разрежена, из нее атмосферные газы рассеиваются в мировое пространство. Состоит она из заряженных атомов гелия и водорода. Границу экзосферы установить трудно, так как она постепенно переходит в космическое пространство.

Гидросфера — прерывистая водно-ледяная оболочка Земли, расположенная между атмосферой и твердой земной корой. Гидросферу составляют воды океанов, морей, озер, рек, болот, ледники, снежники. В более широком смысле в гидросферу включают также подземные воды, атмосферную воду и воду живых организмов.

Основной объем воды сосредоточен в океанах и морях (Мировом океане) — 1330 млн. км³. Второе место по объему занимают подземные воды — 61,4 млн. км³, затем в убывающем порядке идут лед и снег — 24 млн. км³, поверхностные воды суши — 0,5 млн. км³, атмосферные воды в виде водяных паров, инея, кристаллов льда — 0,014 млн. км³ и воды в живых организмах — 0,05 тыс. км³. Из всего этого количества на долю пресных вод приходится лишь около 2%.

О мощности гидросферы можно судить по следующим данным: наибольшая глубина Мирового океана 11 022 м; подземные воды в жидкой фазе встречаются предположительно до глубины 10—12 км, глубже вода существует в парообразном и химически связанном состоянии; мощность ледяного покрова достигает 4 км (в Антарктиде); основная масса атмосферной воды содержится в тропосфере до высоты 10—18 км, причем с высотой ее содержание резко уменьшается.

Температура поверхностного слоя воды в океане до глубины 200—300 м меняется в зависимости от времени года. Средняя годовая температура этого слоя постепенно убывает от 25°C у экватора до 0°C в полярных областях. С глубины 200—300 м до 1500 м температура воды в большинстве районов Мирового океана постепенно понижается, глубже она остается постоянной (между 2 и 0°C). В приполярных областях температура воды до глубины 50—100 м понижается, затем до глубины 500 м несколько повышается, а еще глубже — в придонных слоях — медленно понижается до 0° и ниже.

Вода гидросферы содержит почти все химические элементы. Средний химический состав ее близок к составу океанической воды, в которой преобладают кислород и водород (составляющие молекулу воды), хлор, натрий, кальций, магний. Содержание растворенных в 1 л океанической воды веществ в среднем равно 35 г, средняя плотность ее около 1,025 г/см³. Воды суши содержат мало растворенных веществ (0,05—1 г/л, редко больше), преобладающими являются карбонаты кальция. Подземные воды имеют различную концентрацию растворенных веществ: от сотых долей грамма до 500—600 г в 1 л; при этом в пресных водах преобладают карбонаты кальция, в соленых — хлориды натрия и кальция.

Строение земной коры, мантии и ядра Земли. *Земная кора*, или *литосфера* (ее называют еще сиаль от латинских слов *silicium* — кремний и *aluminium* — алюминий), — верхняя сфера «твердой» Земли. Выделяют два типа земной коры: материковый и океанический.

Материковая кора состоит из трех слоев: верхнего — осадочного (мощностью от 0 до 20 км), среднего — гранитного (мощностью от 10 до 40 км) и нижнего — базальтового (мощностью от 15 до 30 км).

Осадочный слой земной коры состоит главным образом из слоистых осадочных горных пород, возникших путем осаждения вещества, образующегося при разрушении горных пород, в водной среде и на суше. Осаждение происходит механическим путем (под влиянием силы тяжести), химическим (выпадение солей из водных растворов) и биогенным (в результате жизнедеятельности организмов).

Гранитный слой сложен преимущественно из гранитов — светлоокрашенных пород, в состав которых в основном входят кислород и кремний.

Базальтовый слой составляют темноокрашенные породы, соответствующие по составу базальтам (в них присутствуют кислород, кремний, алюминий, кальций, натрий, магний, железо и другие элементы). Наибольшую мощность материковая земная кора имеет в пределах горных хребтов (50—70 км), под материковыми равнинами ее мощность 30—40 км.

Океаническая кора существенно отличается от материковой. Так, под океанами осадочный слой имеет мощность всего несколько сот метров. Гранитный слой обычно отсутствует, а вместо него наблюдается так называемый «второй» слой неясной природы мощностью 1—2,5 км. Базальтовый слой имеется под океанами повсеместно и достигает мощности 5 км.

Существует также земная кора переходного типа от материковой к океанической, характеризующаяся нечетким разделением гранитного и базальтового слоев и большей по сравнению с океанической корой мощностью осадочного слоя.

Средняя плотность пород земной коры $2,77 \text{ г/см}^3$.

Вторая от поверхности Земли геосфера до глубины 2900 км называется *мантией*. На границе земной коры и мантии скорость прохождения продольных и поперечных упругих волн скачкообразно возрастает. Границу между литосферой и мантией называют поверхностью Мохоровичича (сокращенно Мохо) по имени открывшего ее югославского ученого.

По характеру прохождения упругих волн мантия подразделяется на верхнюю (до глубины 1000 км) и нижнюю (на глубине от 1000 до 2900 км). В верхней мантии до глубины 410 км наблюдается медленное, а в интервале глубин 410—1000 км — более быстрое возрастание скорости продольных и поперечных упругих волн. В нижней мантии темп роста скорости упругих волн снова замедляется.

Плотность пород на границе земной коры и мантии возрастает скачком до $3,1\text{—}3,5 \text{ г/см}^3$, с увеличением глубины она медленно растет и достигает на границе верхней и нижней мантии $4,5 \text{ г/см}^3$, а на границе нижней мантии и ядра — $5,6\text{—}5,9 \text{ г/см}^3$.

Ниже глубины 2900 км выделяют *ядро* Земли (его радиус равен 3470 км). Земное ядро делят на внешнее ядро (2900—4980 км), переходную зону (4980—5120 км) и внутреннее ядро (5120—6370 км).

На границе мантии и ядра скорость прохождения продольных

упругих волн скачкообразно уменьшается, поперечные же упругие волны совсем не проходят через границу ядра. Скорость продольных упругих волн во внешнем ядре постепенно возрастает, в переходной зоне скачком увеличивается, во внутреннем ядре остается постоянной.

Плотность пород при переходе от мантии к ядру скачком увеличивается от $5,9$ до 10 г/см³ и медленно возрастает до $12,5$ г/см³ к центру ядра.

Давление внутри Земли на разных глубинах можно рассчитать по плотности пород и ускорению силы тяжести. Расчеты приводят к таким результатам: давление вблизи нижней границы земной коры (на глубине 50 км) равно $1,275 \cdot 10^9$ Па (13 тыс. атм, 1 атм = 1 кг/см²), на границе ядра — $1,275 \cdot 10^{11}$ Па ($1,3$ млн. атм), в центре ядра — более $3,43 \cdot 10^{11}$ Па ($3,5$ млн. атм).

Характер изменения температуры пород достоверно установлен только для верхней геосферы — земной коры. Оценка температуры более глубоких слоев мантии и ядра имеет весьма предположительный характер и основана на расчете количества тепла, выделяемого при распаде радиоактивных элементов в горных породах.

Температура пород земной коры определяется поступлением внутреннего тепла Земли, образующегося при распаде радиоактивных элементов в горных породах, солнечной радиацией и потерей тепла путем излучения с поверхности Земли в космическое пространство.

По характеру изменения температуры в земной коре выделяют три зоны: 1) верхнюю — мощностью от 1 до 40 м, в которой происходят суточные и сезонные колебания температуры пород в связи с изменением интенсивности солнечной радиации в течение суток и года (суточные колебания температур достигают глубины 1 — $1,5$ м); 2) зону постоянных температур, в которой температура в течение года не изменяется (она равна или несколько выше средней многолетней температуры воздуха в данном пункте); 3) внутреннюю, характеризующуюся постепенным ростом температуры с глубиной.

Темп роста температуры с глубиной определяется величиной геотермической ступени (глубина в метрах, на протяжении которой температура увеличивается на 1°C) или величиной геотермического градиента (изменение температуры в градусах на единицу глубины). Среднее значение геотермической ступени равно 33 м на 1°C , т. е. через каждые 100 м глубины температура возрастает на 3°C . Таким темпом температура растет до глубины 15 — 20 км, ниже он замедляется. Предполагается, что до глубины 400 км температура возрастает до 1700 — 1800°C , далее она с глубиной медленно увеличивается и на границе внутреннего ядра достигает 2500 — 3000°C .

В каком агрегатном состоянии находится вещество Земли? Ученые считают, что вещество Земли, за исключением внешнего ядра и некоторых участков верхней мантии (на глубине 70 — 150 км), находится в твердом состоянии. Внешнее ядро, очевидно, находится в жидком состоянии (через него не проходят поперечные упругие вол-

ны); жидким состоянием внешнего ядра объясняют происхождение магнитного поля Земли.

С жидким состоянием вещества отдельных участков верхней мантии связано наличие действующих вулканов.

Основываясь на изучении химического состава земных пород, метеоритов, лунных пород, Солнца (в последнем случае — путем спектральных анализов), а также учитывая данные о плотности и других физических свойствах вещества Земли, ученые определили химический состав различных геосфер и Земли в целом.

Земную кору слагают (в массовых процентах, по данным Г. В. Войткевича): кислород 46,6; кремний 27,7; алюминий 8,13; железо 5,00; кальций 3,63; натрий 2,83; калий 2,59; магний 2,09; титан 0,44; никель 0,006.

В составе мантии преобладают кислород, кремний и алюминий и значительно возрастает по сравнению с земной корой доля магния и железа.

Вещество ядра, по предположению, состоит из железо-никелевого сплава; некоторые исследователи считают, что ядро состоит из железа с примесью (до 20%) кремния.

Непосредственное изучение глубоких слоев земной коры в последние годы производится при помощи сверхглубокого бурения. В 1970-х гг. сверхглубокое бурение ведется в соответствии с международным Геодинамическим проектом, которым предусмотрено получение прямых данных о вещественном составе и физических свойствах нижних слоев земной коры, установление природы физических полей, температурного режима недр, границ слоев с различными физическими свойствами. Сверхглубокое бурение позволяет оценивать перспективы нефтегазоносности глубоких недр, выявлять залежи полезных ископаемых, изучать строение очагов землетрясений. В СССР самой глубокой является скважина № 1 — 7024 м. Ведется бурение скважины глубиной до 15 км.

§ 2. Понятие об относительном и абсолютном возрасте горных пород

Как и когда образовалась Земля? Когда образовались те или иные породы на Земле? Эти вопросы волновали ученых-естествоиспытателей с давних времен.

Вопрос о происхождении Земли до сих пор еще окончательно не решен. По современным представлениям, Земля образовалась около 4,5 млрд. лет назад путем гравитационной конденсации (т. е. уплотнения под воздействием силы тяжести) из рассеянного в околосолнечном пространстве газо-пылевого вещества, содержащего все известные в природе элементы. Уплотнение этого вещества привело к разогреву земных недр за счет тепла, выделяющегося при радиоактивном распаде элементов, а это в свою очередь способствовало разделению Земли на геосферы.

Относительный возраст горных пород. Его определяют двумя методами: стратиграфическим и палеонтологическим.

Известно, что вновь образуемые на поверхности Земли осадочные породы покрывают более древние породы. Этот процесс идет непрерывно. Если порядок отложений не нарушен (например, землетрясениями), т. е. породы залегают горизонтально, то чем древнее порода, тем глубже она залегает. Метод изучения относительного возраста слоев по их взаимоотношению друг с другом называют *стратиграфическим*.

Но часто в связи с движениями земной коры горизонтальное залегание слоев бывает нарушено, и более древние породы оказываются над более молодыми. В таких случаях на помощь приходит *палеонтологический* метод.

С давних пор в шахтах, каменоломнях, в обнажениях пород на поверхности Земли люди находили окаменелые остатки листьев растений, раковин и других организмов (рис. 4). Однако долгое время ученые не могли дать правильного объяснения этим окаменелостям и выдвигали самые невероятные гипотезы о их происхождении. Существовала даже гипотеза, согласно которой все окаменелости рассматривались как останки животных и растений, погибших во время «всемирного потопа».

Первым правильно объяснил присутствие окаменелых остатков животного и растительного мира в горных породах английский инженер Уильям Смит в 1796 г. Он заметил, что в различных слоях горных пород встречаются окаменелости, прису-

щие только этому слою. Это навело его на мысль определять последовательность образования пластов по содержащимся в них окаменелым остаткам. Так было положено начало развитию палеонтологического метода определения относительного возраста пород.

Палеонтологический метод определения относительного возраста пород основан на следующих положениях. 1. В ходе исторического развития органического мира Земли происходила последовательная смена групп животных и растений — от примитивных организмов, остатки которых встречаются в наиболее древних слоях земной коры, до высокоорганизованных животных и растений, остатки которых найдены в новейших отложениях. 2. Растительные и животные

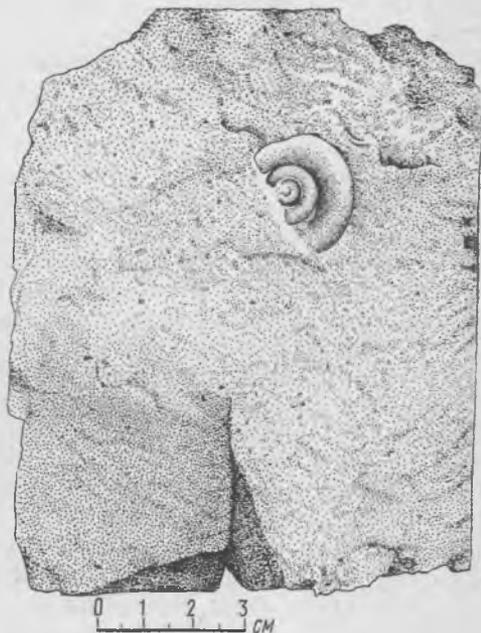


Рис. 4. Окаменелый остаток раковины в горной породе

формы в ходе исторического развития не повторялись. 3. Изменение отдельных групп животных на всем Земном шаре могло происходить не одновременно.

Некоторые виды растительного и животного мира существовали на протяжении длительного времени геологической истории Земли, не претерпевая значительных изменений; другие виды быстро изменялись, и определенные их формы соответствовали только относительно коротким отрезкам геологического времени. Эти формы имеют особенно большое значение для установления относительно возраста слоев, их остатки называются руководящими ископаемыми.

В результате изучения последовательности залегания и взаимоотношения пластов друг с другом и органических остатков была составлена единая стратиграфическая шкала, отражающая подразделение земных пластов на группы в соответствии с крупными событиями геологической истории Земли и изменениями в составе органического мира. В соответствии с ней разработана геохронологическая шкала, показывающая отрезки времени, на которые делится геологическая история Земли и за которые сформировались отложения соответствующих групп.

Отложения подразделяются на пять групп; соответствующие группам временные отрезки называются эрами. Группы, в свою очередь, подразделяются на системы, системы — на отделы, отделы — на ярусы. Каждой системе соответствует по времени период, отделу — эпоха, ярусу — век.

Для обозначения возраста отложений каждому стратиграфическому подразделению присвоен свой индекс, обязательный для геологов всего мира.

Общая геохронологическая и стратиграфическая шкала приведена в табл. 1.

По ископаемым остаткам животных и растений ученые установили, какие животные и растения населяли Землю в различные эпохи, и уточнили возраст отдельных напластований.

Наглядное представление о развитии жизни на Земле дает рис. 5.

Абсолютный возраст горных пород. Как ни велико значение относительной геохронологии, позволяющей представить последовательность накопления осадков и развития жизни на Земле, крайне важно знать абсолютный возраст пород, образовавшихся в ту или иную эпоху, и длительность каждой эпохи.

Возможность определить абсолютный возраст пород ученые получили сравнительно недавно, после открытия явления радиоактивного распада элементов в конце XIX в. Изучение возраста Земли на основе закономерностей радиоактивного распада началось в начале XX в.

Как уже говорилось, в основу определения абсолютного возраста пород было положено явление радиоактивного распада элементов, встречаемых в минералах и горных породах.

Такие элементы, как уран-238, уран-235, торий-232, распадаясь, в конечном итоге превращаются в свинец. Процесс распада идет

Таблица 1. Общая геохронологическая и стратиграфическая шкала

Эра (группа) и индекс	Период (система) и индекс	Начало периода (млн. лет назад)	Продолжительность периода, млн. лет	Эпоха (отдел) и индекс
Кайнозойская KZ	Четвертичный (четвертичная) Q	1,5—2	1,5—2	Голоценовая (голоцен) Q _{IV} Плейстоцен {Позднечетвертичная (верхнечетвертичный) Q _{III} Среднечетвертичная (среднечетвертичный) Q _{II} Древнечетвертичная (нижнечетвертичный) Q _I
	Неогеновый (неогеновая) N	26 ± 1	24	Плиоценовая (плиоцен) N ₂ Миоценовая (миоцен) N ₁
	Палеогеновый (палеогеновая) P	67 ± 3	41	Олигоценная (олигоцен) P ₃ Эоценовая (эоцен) P ₂ Палеоценовая (палеоцен) P ₁
Мезозойская MZ	Меловой (меловая) K	137 ± 5	70	Позднемеловая (верхний) K ₂ Раннемеловая (нижний) K ₁
	Юрский (юрская) I	195 ± 5	58	Позднеюрская (верхний, или мальм) I ₃ Среднеюрская (средний, или доггер) I ₂ Раннеюрская (нижний, или лейас) I ₁
	Триасовый (триасовая) T	240 ± 10	45	Позднетриасовая (верхний) T ₃ Среднетриасовая (средний) T ₂ Раннетриасовая (нижний) T ₁

Эра (группа) и индекс	Палеозойская PZ			Эпоха (отдел) и индекс
	Период (система) и индекс	Начало периода (млн. лет назад)	Продолжительность периода, млн. лет	
Палеозойская PZ	Пермский (пермская) P	285 ± 10	45	Позднепермская (верхний) P ₂ Раннепермская (нижний) P ₁
	Каменноугольный (каменноугольная) C	340—360	55—75	Позднекаменноугольная (верхний) C ₃ Среднекаменноугольная (средний) C ₂ Раннекаменноугольная (нижний) C ₁
	Девонский (девонская) D	410 ± 10	70—50	Позднедевонская (верхний) D ₃ Среднедевонская (средний) D ₂ Раннедевонская (нижний) D ₁
	Силурийский (силурийская) S	440 ± 15	30	Позднесилурийская (верхний) S ₂ Раннесилурийская (нижний) S ₁
	Ордовикский (ордовикская) O	500 ± 20	60	Позднеордовикская (верхний) O ₃ Среднеордовикская (средний) O ₂ Раннеордовикская (нижний) O ₁
	Кембрийский (кембрийская) K	570	70	Позднекембрийская (верхний) K ₃ Среднекембрийская (средний) K ₂ Раннекембрийская (нижний) K ₁

Архейская А	Протерозойская PR			Эра (группа) и индекс
	Раннепротерозойский (нижнепротерозойская) PR ₁	Среднепротерозойский (среднепротерозойская) PR ₂	Позднепротерозойский (рифей) PR ₃ (R)	Период (система) и индекс
Более 2600	2600 ± 100	1900 ± 50	1600 ± 50	Начало периода (млн. лет назад)
	700	300	1000	Продолжительность периода, млн. лет
				Эпоха (отдел) и индекс
				Вендская (вендский) V Позднерифейская (верхний рифей) R ₃ Среднерифейская (средний рифей) R ₂ Раннерифейская (нижний рифей) R ₁

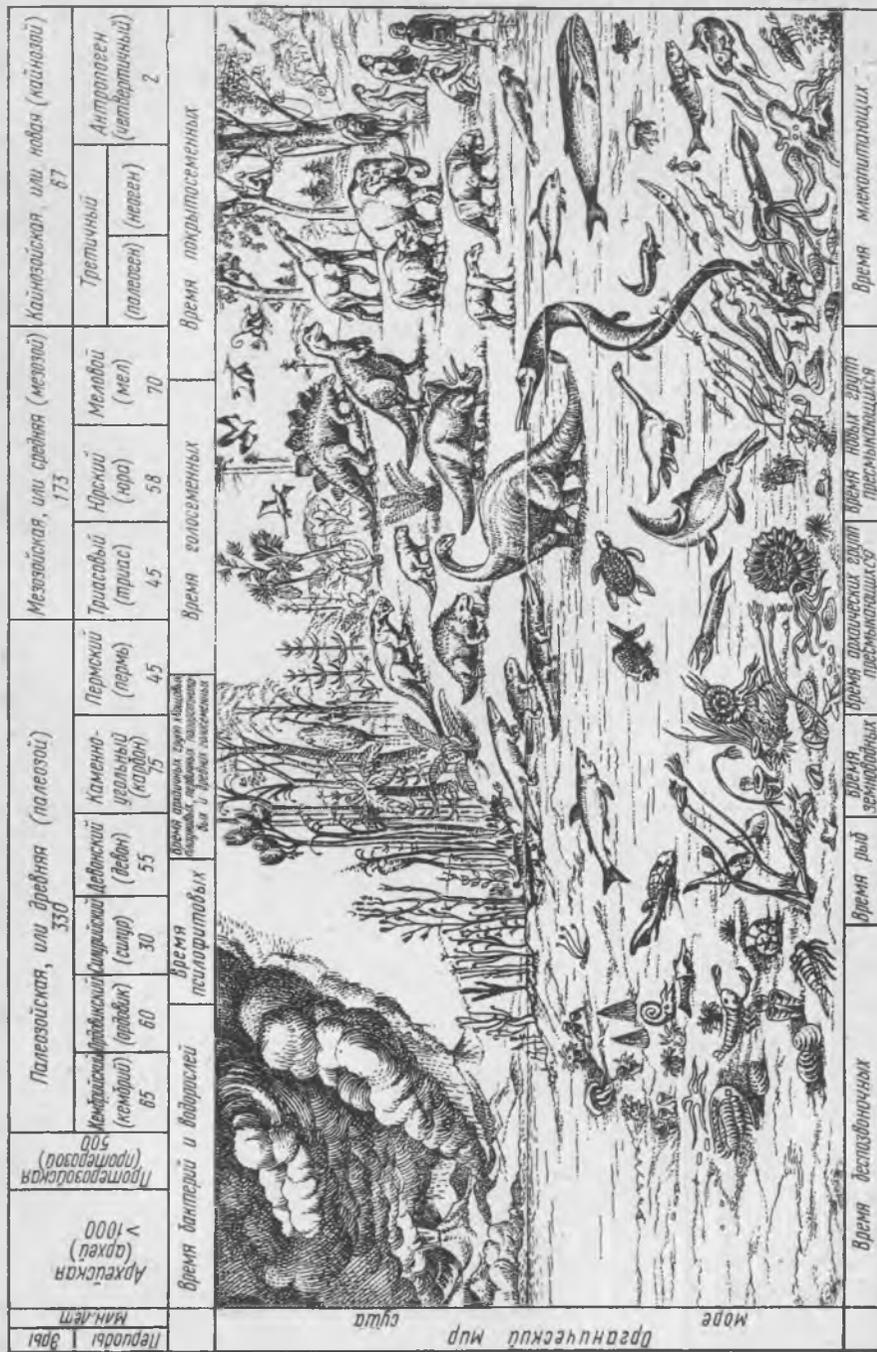


Рис. 5. Развитие жизни на Земле

самопроизвольно, на него не влияют внешние факторы. Длительность распада радиоактивных элементов очень велика; например, за 700 млн. лет распадается лишь половина всех атомов урана. Определяя количество присутствующего в горной породе радиоактивного элемента и продукта его распада, можно по их соотношению узнать возраст породы. Так определяют абсолютный возраст магматических пород, образовавшихся путем застывания магмы на глубине или на поверхности Земли. Возраст осадочных пород, образовавшихся путем осаждения в море продуктов разрушения первичных магматических пород или другим путем (о чем будет сказано ниже), определяют, изучая содержание радиоактивного элемента и продуктов его распада в определенном минерале (например, в глауконите), который присутствует в осадочной горной породе и образовался одновременно с ней.

В настоящее время применяются методы определения абсолютного возраста пород, основанные на определении содержания в них не конечных, а промежуточных продуктов распада урана или тория. Эти методы получили названия по определяемым элементам: урано-свинцовый, калий-аргоновый, рубидиево-стронциевый, углеродный и др. Их применение и позволило составить шкалу абсолютного возраста, установить продолжительность эр и периодов (см. табл. 1).

Контрольные вопросы

1. Каковы форма и размеры Земли?
2. Как называются внешние и внутренние оболочки Земли?
3. Каково строение земной коры?
4. Какие температурные зоны выделяются в земной коре?
5. Что такое относительный возраст пород? На чем основано его определение?
6. На какие промежутки времени разделена геологическая история Земли?

На чем основаны методы определения абсолютного возраста Земли? Какова продолжительность периодов?

ГЛАВА 2

ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ И ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

§ 3. Общие сведения о минералах и их классификации

Минералы — это природные химические соединения, приблизительно однородные по химическому составу и физическим свойствам. К минералам относятся также самородные элементы, встречаемые в природе (золото, платина и др.).

Минералы являются составной частью горных пород, слагающих земную кору. Большая часть минералов встречается в природе в твердом состоянии, меньшая — в жидком (вода, ртуть) и газообразном (метан, углекислый газ).

Образуются минералы как в глубине Земли, так и на ее поверхности в результате различных физико-химических процессов. По происхождению минералы делятся на эндогенные и экзогенные. Минералы, образующиеся внутри Земли при высоких температурах и давлениях, называются *эндогенными*, образующиеся на поверхности земли — *экзогенными*.

Эндогенные минералы бывают магматического и метаморфического происхождения, экзогенные образуются путем выветривания или имеют осадочное происхождение.

Образование эндогенных минералов. Эндогенные минералы магматического происхождения образовались следующим образом. В результате физико-химических и радиоактивных процессов в верхней мантии и самой коре возникают очаги раствора-расплава горных пород, называемого *магмой* и состоящего из соединений многих элементов — кислорода, кремния, алюминия, железа, кальция, магния, натрия, калия, углерода, водорода и др. Магма под большим давлением устремляется к поверхности Земли по разломам и трещинам в земной коре, раздвигая слои горных пород и застывая на различных глубинах. Застывание магмы сопровождается ее расщеплением (дифференциацией) на составные части (по плотности и т. д.) и образованием минералов. Выделяют следующие стадии образования минералов в процессе застывания магмы: 1) магматическую (минералы кристаллизуются из основной части магмы при температуре свыше 700°C); 2) пегматитовую (минералы кристаллизуются из остаточного расплава, обогащенного кремнекислотой, летучими компонентами и редкими элементами при температуре ниже 700°C ; в эту стадию образуются породы крупнокристаллического строения, называемые пегматитами); 3) пневматолито-гидротермальную (минералы образуются сначала из газов, выделяемых магматическим очагом, а затем при понижении температуры газов и переходе их в жидкое состояние — из водного раствора при относительно высокой температуре — около 500°C); гидротермальную (минералы образуются из нагретых водных (гидротермальных) растворов при температурах $400\text{—}100^{\circ}\text{C}$).

Эндогенные минералы метаморфического происхождения образуются в результате глубокого преобразования ранее сформировавшихся минералов и горных пород вследствие изменения физико-химических условий под влиянием высоких температур, давления и воздействия химически активных компонентов. Такие преобразования происходят в горных породах как при погружении их на большую глубину во время движения земной коры (землетрясений), так и на границе между осадочной породой и внедрившимся в нее магматическим телом.

Образование экзогенных минералов. Экзогенные минералы образуются в результате выветривания следующим образом. Минералы и горные породы, образовавшиеся на различных глубинах в земной коре в результате магматических процессов, попадая на поверхность Земли, под действием солнца, воздуха, воды, ветра, смены температур, деятельности живых организмов и химических

процессов разрушаются и претерпевают изменения. Этот процесс называется *выветриванием*. В результате выветривания образуются новые минералы, устойчивые в условиях поверхности.

Часть продуктов выветривания захватывается текучими водами и приносится в крупные водоемы (озера, моря, океаны), где происходит их отложение. Так образуются механические и химические осадки. Некоторые морские организмы содержат те или иные элементы (кальций, кремний, фосфор и др.). Накопление на дне их скелетов приводит к образованию биогенных осадков, которые, кристаллизуясь, образуют минералы осадочного происхождения.

Классификация минералов. В настоящее время известно около 2000 минералов и их разновидностей. Однако широко распространены в земной коре всего несколько десятков минералов. Минералы, из которых в основном состоят горные породы, называются *породообразующими*. Минералы, которые входят в состав руд и являются полезными ископаемыми, называются *рудобразующими*.

Минералы имеют огромное значение для народного хозяйства. Нет ни одной отрасли промышленности, где бы не использовались минералы или извлеченные из них компоненты. Большинство минералов является полезными ископаемыми. Твердые полезные ископаемые подразделяются на *рудные* (металлы и их соединения) и *нерудные* (сырье для химической промышленности, стройматериалы и др.). Рудные полезные ископаемые подразделяются в свою очередь на руды черных (железа, марганца, хрома, ванадия, титана), цветных (меди, никеля, свинца, цинка, олова, алюминия, молибдена, вольфрама и др.), редких (лития, бериллия, цезия, рубидия и др.), радиоактивных (урана, тория) и благородных (золота, серебра, платины и др.) металлов. Природное скопление того или иного полезного ископаемого, которое в количественном и качественном отношении может быть предметом промышленной разработки при данном состоянии техники и в данных экономических условиях, называют *месторождением* полезного ископаемого.

По химическому составу минералы делятся на классы, важнейшие из которых следующие: самородные элементы, сульфиды (соединения металлов с серой), окислы и гидроксиды (соединения элементов с кислородом и гидроксильной группой OH), галоиды (соли соляной и других галоидно-водородных кислот), карбонаты (соли угольной кислоты), сульфаты (соли серной кислоты), фосфаты (соли фосфатной кислоты), силикаты (соли кремниевой кислоты).

К классу *самородных* минералов, встречающихся в природе в виде отдельных скоплений (месторождений), относятся платина, золото, алмаз, графит, сера, медь и др.

Минералы класса *сульфидов* в большинстве являются рудообразующими. Широко распространены сульфиды железа (пирит, марказит), железа и меди (халькопирит), свинца (галенит), цинка (сфалерит), ртути (киноварь), молибдена (молибденит).

Из *окислов* наиболее распространен кварц (составляет около 12% массы земной коры) — соединение кремния с кислородом (по

некоторым классификациям минералов кварц относят к классу силикатов). Разновидностями кварца являются горный хрусталь (прозрачный), морион (дымчатый кварц), аметист (фиолетовый кварц), халцедон (загрязненный примесями халцедон называют кремнем), агат (полосчатая разновидность халцедона), опал. К окислам относятся также некоторые минералы железных руд: гематит, магнетит, лимонит, или бурый железняк (гидроокисел). Окислами являются корунд (используемый как абразивный минерал) и его драгоценные разновидности — рубин, сапфир.

Из *галоидов* следует отметить галит (каменная соль), сильвинит (калийная соль), флюорит (соединение кальция с фтором).

Минералы класса *карбонатов* являются пороодообразующими для осадочных горных пород. Наиболее распространены кальцит (прозрачная его разновидность называется исландским шпатом), магнезит, доломит, сидерит.

Широко распространенными минералами класса *сульфатов* являются гипс и ангидрит (сульфаты кальция), реже встречаются сульфаты натрия — тенардит и мирабилит.

К классу *фосфатов* относится апатит.

Минералы класса *силикатов* наиболее многочисленны. Они входят в большинство горных пород и составляют около 85% массы земной коры. Из силикатов наиболее распространены полевые шпаты. Имеются калиевые полевые шпаты (ортоклаз и микроклин) и натриево-кальциевые, называемые плагиоклазами. В природе встречаются плагиоклазы как чисто натриевые (альбит) и чисто кальциевые (анортит), так и состоящие из смеси в различных соотношениях этих двух составных частей; они носят названия: олигоклаз, андезин, лабрадор, битовнит (в порядке уменьшения содержания в них альбита и возрастания анортита). Плагиоклазы по содержанию кремнезема SiO_2 подразделяются на кислые (альбит, олигоклаз), средние (андезин) и основные (лабрадор, битовнит).

К силикатам относятся минералы нефелин и лейцит, сходные по составу с полевыми шпатами, но более бедные кремнеземом. Силикатными минералами являются также роговая обманка, авгит, оливин, гранат — все очень распространенные пороодообразующие минералы. Магнезиальными силикатами являются тальк, серпентин и его волокнистая разновидность — асбест. Силикатами являются и слюды (мусковит — белая слюда, биотит — черная слюда), глинистые минералы (каолинит, хлорит, монтмориллонит).

Большинство твердых минералов — *кристаллические вещества*, т. е. составляющие их атомы имеют строго определенное положение в пространстве и образуют так называемые кристаллические решетки. На рис. 6 показаны кристаллические решетки алмаза, графита и галита (каменной соли).

Минералы, у которых кристаллическая решетка отсутствует, называются *аморфными* (стеклообразными).

Характерным свойством большинства кристаллических минералов является свойство самоограничения, т. е. способность образовывать кристаллы. В кристалле различают следующие элементы:

грани, или плоскости, ограничивающие кристаллы, ребра — линии пересечения граней, вершины — точки пересечения ребер, гранные углы — углы между гранями.

Важным свойством всех кристаллов одного и того же вещества является одинаковость и постоянство углов между соответствующими гранями. Это свойство позволяет определять минералы даже тогда, когда они представлены мелкими обломками кристаллов.

Чтобы определять минералы по внешним признакам, надо знать физические свойства каждого минерала. Основными физическими свойствами являются форма, цвет, цвет черты (цвет в порошке), прозрачность, блеск, спайность, излом, твердость, плотность.

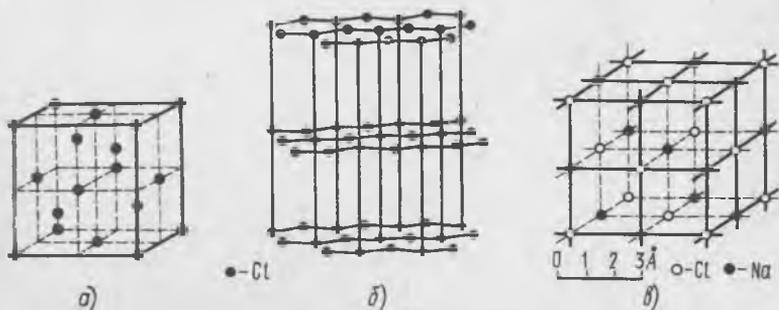


Рис. 6. Кристаллические решетки алмаза (а), графита (б) и галита (в)

По форме различают в основном минералы, встречающиеся в виде кристаллов. Кристаллы могут иметь одну из трех характерных форм: 1) изометрическую, — например, кристалл одинаково развит во всех трех направлениях, — например, кристаллы пирита, галита кубической формы; 2) удлиненную в одном направлении — призматическую, столбчатую, игольчатую (кварц); 3) вытянутую в двух направлениях — пластинчатую, таблитчатую, листовую (слюда, хлорит).

Очень часто кристаллы образуют между собой сростки. Правильные (закономерные) сростки двух одиночных кристаллов называются *двойниками*. Неправильные (незакономерные) сростки зерен одного или нескольких минералов называются агрегатами. По строению и форме различаются следующие агрегаты. *Дендриты* — по форме напоминают ветви дерева, образуются вследствие неравномерного роста кристаллов по различным направлениям (характерны для самородных элементов — меди, золота и др.). *Друзы* — представляют собой группы хорошо образованных кристаллов, выросших на какой-либо поверхности (например, друзы кристаллов горного хрусталя). *Секрети* — образуются при заполнении минеральным веществом пустот в горных породах, при этом сростки кристаллов располагаются по стенкам полости, а внутри она остается пустой; крупные секрети называют *жеодами*. *Кон-*

креции — имеют шаровидную форму, но отложение минерального вещества в них происходит от центра к периферии и внутри они заполнены; строение их радиально-лучистое или концентрическое; мелкие конкреции называют оолитами. Натечные формы — минеральные образования, возникшие в результате натеков; бывают в виде сосулков, почковидные и др.

Цвет минералов может быть самым различным. По прозрачности минералы делятся на прозрачные (горный хрусталь, каменная соль), полупрозрачные (гипс, халцедон) и непрозрачные (пирит, магнетит).

Прозрачные минералы часто бесцветные. У некоторых минералов цвет черты и цвет их в куске различны. Поэтому по цвету черты можно распознавать отдельные минералы (проводят куском минерала черту на белой фарфоровой пластинке).

По блеску различают минералы с металлическим, полуметаллическим и неметаллическим блеском. Металлический блеск свойствен металлам и многим непрозрачным минералам с черной чертой. Полуметаллический блеск напоминает блеск потускневшей поверхности металла (им обладает, например, лимонит — бурый железняк). У минералов с неметаллическим блеском различают еще несколько видов блеска: стеклянный (гипс, кальцит), жирный (тальк), перламутровый (слюда), алмазный (алмаз) и др.

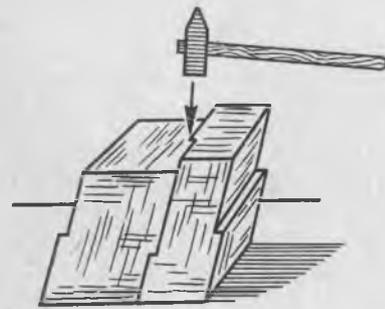


Рис. 7. Пример совершенной спайности у кальцита

Спайностью называется способность минералов раскалываться по гладким параллельным плоскостям, совпадающим с определенными элементами кристаллической решетки (гранями и т. д.). Спайность может проявляться по одному или нескольким направлениям. Выделяют минералы со следующими видами спайности: весьма совершенной — когда минерал очень легко при нажиме ногтем раскалывается на тонкие листочки или пластинки (слюда); совершенной — если при ударе минерал раскалывается на гладкие параллельные пластинки, кубики (каменная соль, кальцит, рис. 7); несовершенной — когда при раскалывании минерала преобладают поверхности с неровным изломом, плоскости же спайности на обломках обнаруживаются с трудом (апатит); весьма несовершенной — если минералы практически не обладают спайностью (кварц).

Излом — это вид поверхности, образующейся при раскалывании минерала не по плоскостям спайности. Излом бывает раковистым, занозистым, или игольчатым, землистым, ровным, неровным, зернистым.

Твердость — одно из основных свойств минералов, по которому их различают. Твердость минералов определяют путем царапания

их другими минералами, твердость которых известна. Минералы с известной и постоянной твердостью, принятые за эталон при определении твердости других минералов, образуют шкалу Мооса (табл. 2).

Таблица 2. Шкала твердости Мооса

Минералы—эталоны твердости	Твердость	Упрощенное испытание твердости минерала
Тальк	1	Царапается мягким карандашом и легко чертится ногтем
Гипс	2	Чертится ногтем
Кальцит	3	Царапается латунной монетой
Флюорит	4	Чертится ножом
Апатит	5	Нож оставляет ясную царапину на минерале, а минерал оставляет неясную царапину на поверхности ножа
Полевой шпат	6	Нож оставляет едва заметную царапину
Кварц	7	Не царапается ножом
Топаз	8	Режет стекло, но не царапает кварца
Корунд	9	Царапает кварц
Алмаз	10	Царапает кварц

Плотность (т. е. масса единицы объема) минералов колеблется от 0,6 до 21 г/см³. По плотности минералы можно разделить на три группы: малой плотности—до 2,5 г/см³ (гипс), средней плотности—от 2,5 до 4 г/см³ (кварц, слюда) и высокой плотности — больше 4 г/см³ (рудные минералы). В природе преобладают минералы с плотностью 2—5 г/см³.

Описание основных породообразующих минералов дано в табл. 3.

§ 4. Классификация и свойства горных пород

Горными породами называются природные агрегаты (совокупности) минералов более или менее постоянного состава, образовавшиеся в результате геологических процессов и слагающие земную кору. Горные породы образуют в земной коре определенные геологические тела (формы залегания) — пласты, слои, жилы, потоки и т. д.

По происхождению горные породы делятся на три группы: магматические (изверженные), осадочные и метаморфические. Магматические и метаморфические горные породы составляют около 90% объема земной коры. Несмотря на то, что на долю осадочных горных пород приходится 10% объема земной коры, они занимают 75% площади поверхности, так как слагают верхнюю часть земной коры.

Магматические горные породы образуются в результате застывания и кристаллизации магмы — сложного силикатного расплава,

Таблица 3. Основные породообразующие минералы

Класс	Название минерала	Твердость	Блеск	Цвет	Цвет черты	Излом и спайность	Форма кристаллов	Плотность, г/см ³
Оксиды	Кварц и его разновидности	7	Стеклянный на гранях кристалла, жирный на изломе	Белый (молочный), фиолетовый, розовый, черный, дымчатый, бесцветный	Не дает черты	Излом раковистый, спайности нет	Удлиненные призматические с пирамидальными концами	2,6
Силикаты	Ортоклаз (калийный полевой шпат)	6	Стеклянный	Белый, голубовато-серый, розовый, мясо-красный	Белая	Спайность совершенная по двум направлениям под прямым углом	Призматические	2,6
	Микроклин (калийный полевой шпат)	6	»	Кремовый, зеленовато-серый, розовый	Светлая	Спайность совершенная по двум направлениям под углом, близким к прямому	»	2,6
	Альбит (натриевый плагиоклаз)	6	»	Белый, голубовато-белый	Белая	Излом неровный, спайность совершенная по двум направлениям	Таблитчатые в виде сростков пластинок	2,6
	Анортит (кальциевый плагиоклаз)	6—6,5	»	Серый, белый, голубоватый, желтоватый	Белая	Спайность совершенная по двум направлениям	Таблитчатые	2,7
	Лабрадор (кальциево-натриевый плагиоклаз)	6	Стеклянный, перламутровый	Серый, темно-серый с голубыми и зеленоватыми переливами	Белая	То же	»	2,7

Продолжение табл. 3

Класс	Название минерала	Твердость	Блеск	Цвет	Цвет черты	Излом и спайность	Форма кристаллов	Плотность, г/см ³
Силикаты	Нефелин	6	Стеклянный на гранях, жирный на изломе	Серый, розовый, желто-бурый, бесцветный	Не дает черты	Излом плоско-раковистый, спайность несовершенная	Мелкие призматические	2,7
	Авгит (пироксен)	6,5	Стеклянный	Зеленый, бурый, черный	Светлая серо-зеленая	Излом неровный, спайность совершенная по двум направлениям	Восьмиугольные призматические	3,3—3,6
	Роговая обманка (амфибол)	5,5—6,0	Шелковистый на плоскостях спайности	Серо-зеленый, темно-зеленый, черный	Зеленоватая и бурая	Излом занозистый, спайность совершенная по двум направлениям	Столбчатые, призматические, лучистые сростки	3,1—3,5
	Оливин	6,5—7	Стеклянный	Оливково-зеленый, бутылочный, буроватый	Не дает черты	Излом неровный, спайность несовершенная	Кристаллы редкие, обычно зерна	3,3—3,4
	Мусковит (белая слюда)	2—3	Стеклянный, перламутровый	Бесцветный с желтоватым, сероватым, зеленоватым оттенком, прозрачный	Белая	Спайность весьма совершенная в одном направлении	Пластинчатые, расщепляются на тонкие листочки, чешуйки	2,7—3,1

Класс	Название минерала	Твердость	Блеск	Цвет	Цвет черты	Излом и спайность	Форма кристаллов	Плотность, г/см ³
Силикаты	Биотит (черная слюда)	2—3	Стеклообразный, перламутровый	Черный, темно-зеленый, бурый	Белая, зеленоватая	Спайность весьма совершенная в одном направлении	Таблитчатые, пластинчатые, расщепляются на тонкие листочки	3—3,1
Карбонаты	Кальцит	3	Стеклянный	Белый, серый, желтый, голубой, прозрачный или просвечивающий	Белая	Спайность весьма совершенная по трем направлениям	Ромбоэдрические	2,7
Сульфаты	Гипс	2	Стеклообразный с перламутровым отливом	Бесцветный (прозрачный), белый, розовый, желтый, серый	Белая	Излом занозистый, спайность весьма совершенная в одном направлении	Таблитчатые, пластинчатые	2,3
Галогениды	Ангидрид	3—3,5	Стеклообразный	Белый, сероватый, голубой, розовый	Белая	Излом занозистый, спайность совершенная по трем направлениям	Мелкие таблитчатые	2,8—3
	Галит (каменная соль)	2,5	Стеклообразный, жирный	Белый, бесцветный, синеватый, розовый, серый	Белая	То же	Кубические	2,1—2,2

поднимающегося из верхней мантии Земли. Поднимаясь вверх, магма затвердевает как внутри земной коры, так и на ее поверхности.

Осадочные горные породы образуются на земной поверхности или вблизи нее в условиях относительно низких температур и давлений из продуктов разрушения ранее образованных горных пород, а также в результате жизнедеятельности организмов и путем выпадения химических осадков.

Метаморфические горные породы образуются в глубоких зонах земной коры в результате изменения (метаморфизма) магматических и осадочных пород под влиянием высоких температур и давлений.

Горные породы всех трех групп различаются по совокупности их свойств: минеральному составу, цвету, структуре, текстуре.

Каждая горная порода характеризуется определенным минеральным составом. Горная порода может состоять из одного минерала (каменная соль, известняк) или из нескольких минералов (гранит, песчаник). В горной породе различают главные породообразующие минералы и второстепенные (аксессуарные), слагающие менее 5% ее объема.

Цвет породы зависит от минерального состава, т. е. от цвета входящих в породу минералов и рассеянных в ней примесей. Иногда цвет породы бывает связан с цветом тончайшей корочки из какого-либо красящего вещества, обволакивающей минеральные зерна (из окиси или закиси железа, органических веществ и др.).

Под структурой понимают особенность внутреннего строения горной породы, обусловленную степенью кристаллизации ее вещества, размерами, формой и взаимным расположением минеральных зерен (например, зернистая, обломочная, оолитовая).

Текстура (сложение) породы — это совокупность признаков ее внешнего строения, определяемая характером размещения минеральных зерен, их ориентировкой и окраской (например, слоистая, массивная, полосчатая).

§ 5. Магматические горные породы

Магматические (изверженные) горные породы по условиям образования подразделяются на два типа: *интрузивные* (глубинные), застывшие в толще земной коры среди других горных пород, и *эффузивные* (вулканические, излившиеся), застывшие на земной поверхности в результате излияния магмы при вулканических извержениях.

Структура и текстура. Интрузивные и эффузивные горные породы различаются структурой и текстурой. Интрузивные породы застывают на больших глубинах в условиях высоких температур и давлений медленно и поэтому обладают полнокристаллической и крупнозернистой структурой. По относительному размеру минеральных зерен интрузивные породы имеют равномернозернистые структуры.

Эффузивные горные породы вследствие быстрого остывания в поверхностных условиях не успевают полностью кристаллизоваться

и поэтому имеют неполнокристаллические и стекловатые структуры, а по абсолютному и относительному размеру минеральных зерен — мелкозернистые, тонкозернистые (скрытокристаллические — афанитовые) и неравномернозернистые структуры.

Некоторые эффузивные породы проходят две стадии кристаллизации. Первая стадия соответствует времени подъема силикатного расплава вверх, к поверхности Земли. В это время в расплаве зарождаются отдельные минералы в виде кристаллов, которые находятся во взвешенном состоянии и постепенно растут при движении расплава вверх. Вторая стадия происходит после достижения расплавом земной поверхности и характеризуется быстрым его застыванием с образованием мелких кристаллов или стекловатой массы.

Таким образом, на фоне более мелкокристаллической или стекловатой основной массы породы, образовавшейся на второй стадии кристаллизации, выделяются крупные кристаллы, образовавшиеся на первой стадии кристаллизации. Эти кристаллы называют порфиrowыми выделениями, а структуру всей породы в целом — порфиrowидной (при полнокристаллической основной массе), или порфиrowой. Порфиrowой структурой могут обладать и интрузивные горные породы, застывшие на небольших глубинах (полуглубинные — гранит-порфир и др.).

У магматических пород различают текстуры массивную, пятнистую, пузырчатую, миндалекаменную, флюидальную, полосчатую и др. Массивная текстура характерна для однородных пород — ею обладают равномернозернистые интрузивные породы, а также бесструктурные вулканические стекла. Пятнистую текстуру имеют породы с неправильным чередованием светлых и темных минералов, пузырчатую — породы с наличием пустот (которые образуются от пузырьков газа, растворения или разрушения отдельных минералов). Если пустоты заполнены вторичными минералами (такими, как опал, халцедон, кальцит), то текстура породы называется миндалекаменной. Пузырчатую и миндалекаменную текстуру имеют вулканические (эффузивные) породы. Иногда в породах, образовавшихся путем застывания излившейся магмы, видны следы течения в виде неровных полосок застывшего стекла; текстуру таких пород называют флюидальной. Полосчатая текстура часто наблюдается в рудах и характеризуется чередованием относительно тонких полос, различающихся по минеральному составу, цвету, крупности.

Классификация магматических горных пород. Магматические породы классифицируют по минеральному и химическому составу. В основу этой классификации положено процентное содержание в породе окиси кремния SiO_2 , присутствующей в значительных количествах почти во всех горных породах. По содержанию SiO_2 изверженные породы делятся на кислые (SiO_2 —65—75%), средние (SiO_2 —52—65%), основные (SiO_2 —40—52%) и ультраосновные (SiO_2 <40%). Кроме того, в зависимости от содержания окислов щелочных элементов (натрия и калия) выделяют породы нормального и щелочного ряда. К щелочным относят породы,

в которых преобладающими минералами являются фельдшпатыды (нефелин); по содержанию SiO_2 они относятся к основным (нефелиновый сиенит, фонолит).

Кислым породам свойственны такие минералы со светлой окраской, как кварц, ортоклаз, альбит, в которых полностью отсутствует оливин; в основных породах преобладают цветные минералы — авгит, роговая обманка, основные плагиоклазы — и отсутствует кварц. В ультраосновных породах отсутствуют как кварц, так и полевые шпаты.

Ниже приводится краткое описание основных типов магматических горных пород.

Кислые породы характеризуются наличием в них видимых минералов кварца и светлой окраской. К кислым изверженным породам относятся гранит, гранит-порфир, липарит, липарит-порфир, гранодиорит, дацит.

Граниты представляют собой равномернозернистую глубинную породу, состоящую из кварца (30%), калиевого полевого шпата — ортоклаза или микроклина (40%), плагиоклазов (20%) и темноцветных минералов — биотита и роговой обманки (5—10%).

Гранит-порфиры имеют такой же состав, но отличаются от гранитов порфировидной структурой: на фоне равномернозернистой полнокристаллической массы выделяются более крупные кристаллы кварца, ортоклаза или микроклина, плагиоклаза, реже биотита.

Текстура гранитов и гранит-порфиров массивная, пятнистая.

Липариты и липарит-порфиры — эффузивные кислые породы с неполнокристаллической основной массой и вкраплениями кварца, калиевого полевого шпата и плагиоклазов. Текстура этих пород массивная, пористая, флюидальная, пятнистая.

Гранодиорит — глубинная полнокристаллическая порода, состоящая из полевого шпата (плагиоклазов и калиевых полевых шпатов), кварца и небольшого количества роговой обманки и биотита.

Дациит — эффузивная порода со скрытокристаллической основной массой, состоящей большей частью из плагиоклаза и одного или нескольких темноцветных минералов (амфибола, биотита); в основной массе имеются вкрапления кальциево-натриевого полевого шпата (чаще андезина), иногда кварца, а из темноцветных минералов — биотита, роговой обманки и пироксена.

Средние породы — интрузивные сиениты, нефелиновые сиениты, сиенит-порфиры, диориты, диорит-порфириты и эффузивные трахиты, андезиты, фонолиты и фонолитовые порфиры — характеризуются серой окраской и отсутствием или малым содержанием кварца.

Все интрузивные средние породы имеют полнокристаллическую равномернозернистую или порфировидную структуру и массивную, пятнистую, реже полосчатую текстуру.

Сиениты имеют светло-серую и розовато-серую окраску и сложены калиевым полевым шпатов (50—60%), альбитом, олигоклазом (25—30%) и темноцветными минералами — авгитом, биотитом, роговой обманкой (10—20%). В сиенит-порфирах имеются вкрапления калиевого полевого шпата, биотита, роговой обманки, авгита.

В нефелиновых сиенитах и сиенит-порфирах (щелочные породы) содержание калиевых полевых шпатов достигает 65—70%, присутствуют нефелин (20%) и темноцветные минералы (10—25%) — биотит, авгит, роговая обманка. Вкрапления в нефелиновых сиенит-порфирах могут быть представлены всеми основными минералами, входящими в породу.

Диориты и диорит-порфириты — темно-серые породы, сложенные средним плагиоклазом — андезином (70%) и роговой обманкой (до 30%). В незначительных количествах присутствуют биотит, авгит, иногда калиевый полевой шпат и кварц.

Порфиroidными вкраплениями в диорит-порфиритах являются плагиоклаз (андезин) и роговая обманка.

Трахиты, трахитовые порфиры по составу подобны сиенитам, но отличаются от них скрытокристаллической (афанитовой) структурой. Скрытокристаллическую структуру также имеют фонолиты и фонолитовые порфиры, сходные по составу с нефелиновыми сиенитами; вкрапления в фонолитах состоят из калиевого полевого шпата, нефелина, авгита, роговой обманки и различимы только под микроскопом.

Андезиты и андезитовые порфириты — серые и красновато-серые породы с афанитовой структурой и вкраплениями из плагиоклаза, роговой обманки, иногда из биотита, авгита.

Текстура средних эффузивных горных пород — массивная, пористая, полосчатая.

Основные породы характеризуются отсутствием кварца и калиевого полевого шпата. Цвет их темный, почти черный из-за большого количества входящих в них темноцветных минералов. Представлены они габбро, габбро-порфиритами, диабазами (глубинные породы) и базальтами, базальтовыми порфиритами (эффузивные породы).

Габбро — полнокристаллические крупно-среднезернистые почти черные горные породы, состоящие из основного плагиоклаза и пироксена (авгита). Встречаются породы, сложенные исключительно лабрадором, которые носят название лабрадоритов.

Габбро-порфириты отличаются порфиroidной структурой (вкрапления — плагиоклаз, пироксен).

Диабазы — темные плотные породы с равномерно-мелко- и среднезернистой структурой, по составу однотипные с габбро.

Базальты и базальтовые порфириты — также темные породы, но с афанитовой структурой и с мелкими вкраплениями оливина и пироксена.

Ультраосновные породы — интрузивные по происхождению. Большинство ультраосновных пород состоит из одного темноцветного минерала — оливина, авгита, роговой обманки. Цвет их темный до черного или темно-зеленый. К ультраосновным породам относятся дуниты, перидотиты, пироксениты и кимберлиты.

Дуниты сложены в основном оливином, перидотиты — оливином и авгитом, пироксениты — авгитом и другими пироксенами. Кимберлиты — породы, состоящие из скрепленных цементом обломков

перидотитов, пироксенитов, зерен оливина, пироба (разновидность граната), флогопита и некоторых других минералов. Цементом является сама интрузивная порода, состоящая из мелких зерен оливина, пироксена, флогопита, магнетита и стекловатой массы серпентинитового и карбонатного состава. В кимберлитах встречаются коренные месторождения алмазов.

В классификацию магматических пород не включены породы, сложенные вулканическим стеклом, — обсидианы, пемзы. По химическому составу они могут быть кислыми, средними и основными, но классифицировать их можно только по данным химических анализов.

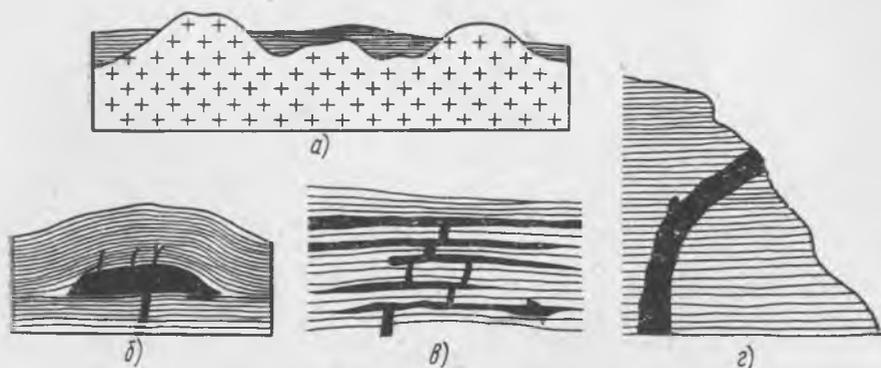


Рис. 8. Формы залегания интрузивных тел:
а — батолит; б — лакколит; в — силлы; г — дайка

Формы залегания магматических горных пород. Внедряясь в земную кору, магма после застывания образует различной формы тела — глубинные (батолиты, штоки), полуглубинные (лакколиты, пластовые и трещинные интрузии) и поверхностные (покровы, потоки).

Батолиты — интрузивные тела больших размеров как по площади (сотни тысяч квадратных километров), так и по глубине. **Штоки** представляют собой тела неправильной формы, более простые и меньшего размера, чем батолиты (площадью в плане до 100 км²). **Лакколиты** — грибообразные или караваяобразные интрузии с выпуклой кровлей и приблизительно горизонтальной подошвой. Пластовые интрузивные залежи — **силлы** — образуются при внедрении магмы между слоями вмещающих пород. К трещинным интрузиям относятся секущие (т. е. прорывающие вмещающие породы) тела — **дайки** и **жилы**.

Дайка представляет собой пластинообразное крутопадающее тело, ограниченное параллельными стенками. **Жила** — протяженное в двух направлениях простое тело, образовавшееся в результате заполнения трещины минеральным веществом. Некоторые авторы все жилы, сложенные горными породами, называют дайками, оставляя термин «жила» лишь за рудными образованиями. Основные формы залегания интрузивных тел показаны на рис. 8.

Эффузивные породы имеют следующие формы залегания: покровы, потоки, некки, вулканические конусы, соммы (рис. 9). *Покровы* — это масса застывшей лавы (т. е. излившегося на поверхность раствора-расплава горных пород), распространенная во все стороны и занимающая большие площади (например, лавовые плато в Сибири, Индии и т. д.). *Потоки* — форма распространения лавы по поверхности, характеризующаяся значительной длиной (до 100 км и более) и относительно небольшой шириной. *Некки* — столбовобразные тела, образующиеся при заполнении жерл вулканов за-

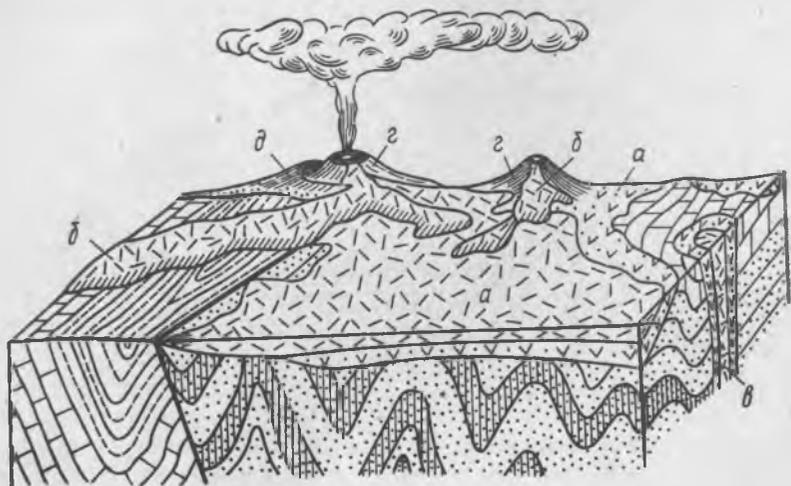


Рис. 9. Формы залегания эффузивных пород:
а — покров; б — поток; в — некка; г — конус; д — сомма

стывшей лавой и другими продуктами вулканического извержения. *Вулканические конусы* — образования, возникшие в результате накопления продуктов вулканического извержения (застывшей лавы, пепла, шлака и т. д.) вокруг жерла; вершина конуса обычно срезана и в ней находится чашеобразное углубление — кратер. *Соммы* представляют собой гребнеобразную часть более древнего вулкана, частично или полностью окаймляющую новый вулкан и отделенную от него кольцевой долиной.

Из интрузивных пород наибольшее распространение имеют кислые — граниты и гранодиориты, слагающие крупные тела (батолиты, лакколиты); основные породы (диабаз и др.) обычно образуют малые интрузии (дайки). Главную массу эффузивных пород, наоборот, составляют основные породы — базальты и средние — андезиты, кислых пород — дацитов и липаритов — в них значительно меньше.

С магматическими породами связаны месторождения многих важнейших полезных ископаемых: самородных элементов, черных и цветных металлов, редких и радиоактивных элементов, а также

нерудных полезных ископаемых (апатита, флюорита, пьезокварца и др.). Многие магматические породы используются как строительные материалы и техническое сырье.

§ 6. Осадочные горные породы

Образование осадочных горных пород. Это многостадийный процесс, в котором различают: 1) разрушение, 2) перенос, 3) отложение и 4) диагенез.

Под действием кислорода воздуха, углекислоты, воды и резкой смены температур, а также в результате жизнедеятельности растений, животных и микроорганизмов идет разрушение пород, слагающих верхнюю часть земной коры. Монолитные горные породы постепенно раскалываются на все более мелкие обломки, многие минералы разрушаются, а их составные части растворяются в воде или образуют другие минералы, устойчивые на поверхности Земли. Продукты разрушения в виде твердых частиц или растворенных в воде минеральных веществ переносятся с места на место водными потоками, ветром и ледниками и откладываются на дне океанов, морей, озер, в долинах рек, на равнинах и склонах гор.

Осадки морских водоемов имеют характер рыхлых илов. Превращение их в плотные горные породы (окаменение) является результатом сложного и длительного процесса, называемого *диагенезом*. В результате диагенеза происходят образование новых минералов, уплотнение и уменьшение влажности осадка, его перекристаллизация и цементация.

Классификация осадочных пород. В зависимости от условий образования осадочные породы делят на четыре основные группы: обломочные, или кластические, глинистые, породы химического и породы органического происхождения. Породы всех этих четырех групп могут образоваться и накапливаться как на дне морей и океанов, так и на суше (в реках, озерах, болотах и т. д.). В первом случае осадочные породы называют морскими, во втором — континентальными.

Структуру осадочных пород устанавливают в зависимости от величины зерен (крупнозернистая, среднезернистая, мелкозернистая, алевритовая), от соотношения зерен по размеру (равно- и разнозернистая) и от формы зерен (оолитовая — когда зерна имеют форму шаровидных стяжений, игольчатая, волокнистая).

Характерными текстурами осадочных пород являются слоистая (порода состоит из горизонтальных или волнистых слоев, образованных зернами различного состава, цвета или размера) и беспорядочная (слагающие породу зерна расположены беспорядочно).

Осадочные горные породы залегают в виде слоев, или пластов. Формы залегания связаны с условиями образования осадков — накоплением их в стоячей или медленно передвигающейся воде, накоплением на месте разрушения первичной породы и др. Нижняя поверхность пласта называется подошвой, а верхняя — кровлей. Кратчайшее расстояние (по нормали) между кровлей и подо-

швой называется мощностью пласта. Уменьшение мощности пласта до полного его исчезновения называется *выклиниванием*. Пласт небольших размеров, выклинивающийся во всех направлениях, называется *линзой* (рис. 10).

Обломочные породы образуются в результате механического разрушения первичных горных пород (магматических, метаморфических и осадочных). Продукты разрушения могут откладываться на месте (образуются остаточные осадочные породы) или переноситься текучей водой, ветром, ледниками и откладываться в другом месте (образуются перенесенные осадочные породы).

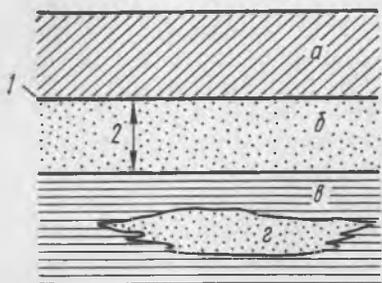


Рис. 10. Залегание осадочных пород в виде пластов (а, б, в) и линзы (z):

1 — кровля пласта б и подошва пласта а; 2 — мощность пласта б

Остаточные обломочные породы состоят из неокатанных обломков первичных пород или составляющих их минералов, перенесенные — из окатанных в различной степени обломков.

Различают нецементированные (рыхлые) и цементированные обломочные породы. Обломки скрепляются в единую монолитную массу чаще всего при помощи кремнисто-

го, карбонатного, сульфатного и глинистого цемента. От характера цемента зависит прочность (крепость, твердость) породы.

Рыхлые и цементированные обломочные породы классифицируют по величине и форме обломков (табл. 4). По величине обломков различают *грубообломочные* (псефиты), *песчаные* (псаммиты) и *алевритовые* (алевриты, лессы) обломочные породы. Первые две выделенные группы пород в свою очередь подразделяют по величине и форме обломков.

Следует отметить, что классификация обломочных пород по величине обломков, принятая в инженерной геологии, несколько отличается от приведенной в табл. 4. Так, в ней к песчаным отнесены породы с крупностью частиц 2—0,05 мм, к алевритовым — от 0,05 до 0,005 мм.

Степень окатанности обломков зависит от дальности переноса их от места разрушения первичных пород. Хорошо окатанные обломки — валуны, галька, гравий, переносимые реками, ледниками. Неокатанные обломки — глыбы, щебень, дресва — угловатые, с острыми краями, накапливаются вблизи места разрушения первичных пород. Они встречаются на возвышенностях, склонах гор.

Окатанные обломки, скрепленные цементирующим материалом, называются *конгломератами*, а неокатанные цементированные обломки — *брекчиями* (рис. 11). Состав валунов и галек в конгломератах, глыб и щебня в брекчиях может быть различным.

Рыхлые песчаные породы называются *песками*, цементированные — *песчаниками*. Хотя в приведенной классификации

Таблица 4. Классификация обломочных горных пород

Группы горных пород	Наименование и размеры обломков, мм	Наименование пород			
		рыхлых		сцементированных	
		сложенных окатанными обломками	сложенных неокатанными обломками	сложенных окатанными обломками	сложенных неокатанными обломками
Грубообломочные (псефиты)	Крупные, 200 Средние, 200—10 Мелкие, 10—2	Валуны Галечники Гравий	Глыбы Щебень Дресва	Валунные конгломераты Конгломераты Гравийные конгломераты (гравелиты)	Глыбовые брекчии Брекчии —
Песчаные (псаммиты)	Грубые, 2—1 Крупные, 1—0,5 Средние, 0,5—0,25 Мелкие, 0,25—0,1	Пески грубозернистые Пески крупнозернистые Пески среднезернистые Пески мелкозернистые		Песчаники грубозернистые » крупнозернистые » среднезернистые » мелкозернистые	
Алевритовые	0,1—0,01			Алевриты	

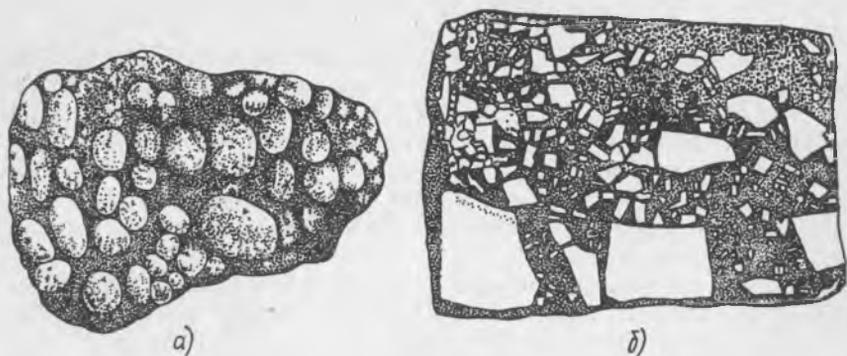


Рис. 11. Грубообломочные породы:
а — конгломерат; б — брекчия

(табл. 4) песчаные породы не подразделены по форме обломков, при их описании всегда отмечают степень окатанности зерен.

Песчаные породы могут состоять преимущественно из зерен одного минерала, например кварца (кварцевый песок или песчаник); в этом случае их называют олигомиктовыми. В большинстве случаев песчаные породы состоят из обломков различных минералов (кварца, полевого шпата, слюды, глауконита и т. д.); их называют

полимиктовыми. Если в песках или песчаниках преобладают зерна кварца и полевого шпата, их называют аркозовыми. Если же они состоят из обломков различных пород и минералов, их называют граувакковыми.

Песчаные породы могут образоваться в морях, реках и озерах, переноситься и переоткладываться ледником, ветром.

Несцементированные (рыхлые) алевритовые породы называют а л е в р и т а м и, сцементированные — а л е в р о л и т а м и. К алевритам относятся супеси, суглинки, лёсс, лёссовидные суглинки. Супеси состоят преимущественно из частиц диаметром 0,1—0,01 мм с присутствием песчаных частиц диаметром более 0,1 мм. В суглинках, наоборот, кроме алевритовых частиц присутствуют глинистые частицы менее 0,01 мм (10—30%). Лёсс по размерам частиц близок к суглинкам, но отличается своеобразным строением — отсутствием слоистости, большой пористостью, обусловленной наличием многочисленных тонких вертикальных канальцев. Кроме того, лёсс характеризуется наличием карбонатного материала. Более крупные частицы лёсса состоят из кварца, полевого шпата, слюды, более мелкие — из глинистых минералов (каолинита, монтмориллонита и др.). После увлажнения происходит просадка лёссов даже под влиянием собственной массы.

Глинистые породы состоят из частиц размером менее 0,01 мм. Они образуются в результате физического размельчения и химического разложения горных пород и составляющих их минералов. Глинистые частицы состоят из глинистых минералов — каолинита, гидрослюды, монтмориллонита и др.

Глины обладают специфическими физическими свойствами: пластичностью, т. е. могут во влажном состоянии принимать под давлением любую форму и сохранять ее после снятия давления, способностью при смачивании поглощать воду и разбухать, слабой водопроницаемостью и др.

Глины могут образоваться как на месте разрушения различных пород (так называемые остаточные глины), так и путем осаждения глинистых частиц в воде.

Встречаются глины, состоящие преимущественно из одного минерала — каолинита (каолины — белые глины, используемые в строительстве как огнеупорный материал, и т. д.), монтмориллонита (отбеливающие глины, используются также для приготовления глинистых промывочных растворов при бурении скважин). Уплотненные сцементированные глины называются аргиллитами.

Среди остаточных глин встречаются специфические породы — бокситы, состоящие преимущественно из гидратов окиси алюминия. Это довольно плотные породы красного, реже серого цвета. Они формируются при выветривании магматических горных пород в условиях жаркого влажного климата, а также при переотложении этих продуктов выветривания.

Породы химического и породы органического происхождения рассматриваются здесь совместно, так как часто бывает трудно точно установить, какого та или иная порода происхождения.

По химическому и минеральному составу породы химического и органического происхождения подразделяются на следующие группы: карбонатные, кремнистые, сернокислые, галоидные, железистые, фосфатные, углеродистые (горючие ископаемые).

К группе карбонатных пород относятся известняки, писчий мел, мергель, доломиты.

Наибольшее распространение имеют известняки. Они бывают органического (органогенные) и химического происхождения. Органогенные известняки состоят из раковин моллюсков, фузулинид, скелетных остатков водорослей, кораллов и т. д. В соответствии с этим они называются известняками-ракушечниками, фузулиновыми, коралловыми и т. д. Известняки-ракушечники широко распространены на юге СССР.

Химические известняки состоят из мельчайших зернышек кальцита (микрозернистые известняки) или из скопления шаровидных известковых зерен — оолитов (оолитовые известняки).

Писчий мел — порода смешанного химического и органического происхождения, состоит из известковистых остатков мелких морских организмов (планктона) и мелких кристалликов кальцита, образованных химическим путем.

Мергель — карбонатная порода с примесью глинистых частиц (до 30—50%).

Доломиты — породы, состоящие не менее чем на 95% из минерала доломита (углекислая соль кальция и магния). Они образуются путем выпадения в осадок из морской воды с повышенной соленостью. Чистые доломиты встречаются редко, обычно наблюдаются переходные от известняков к доломитам породы — известковые доломиты или доломитовые известняки.

К железисто-карбонатным породам относятся сидериты, состоящие в основном из сидерита (углекислая соль железа). Все карбонатные породы преимущественно белого цвета. Однако при наличии примесей (глинистых частиц, железа, битума и т. д.) они могут быть серые, розовые, желтые, черные и др.

Кремнистые породы представлены диатомитами, трепелами и опоками.

Диатомит образован очень мелкими кремнистыми скелетами диатомовых водорослей. Порода белого или желтоватого цвета, слабо сцементированная, пористая, легкая, внешне похожа на писчий мел (отличается от мела тем, что не вскипает с соляной кислотой).

Трепел внешне сходен с диатомитом, но образован мельчайшими зернышками опала.

Опока — более твердая, чем диатомит и трепел, легкая порода, состоит из зернышек опала и в меньшем количестве — из скелетов диатомей. Цвет серый, голубоватый, черный.

Сернокислые породы. Из этой группы пород наиболее широко распространены гипс и ангидрит.

Гипс — порода, сложенная одноименным минералом. Имеет небольшую твердость (чертится ногтем), белый, серый, желтый или

розовый цвет. Встречается в виде кристаллически-зернистых масс, отдельных зерен или друз кристаллов в различных осадочных породах.

Ангидрит — плотная порода серого или голубовато-серого цвета, состоящая из одноименного минерала. Образуется путем осаждения из воды в соленых лагунах, озерах. Встречается в виде линз и пластов иногда большой мощности (сотни метров).

К галлоидным породам относятся каменная соль (галит) и сильвинит. Образуются они в соленых озерах, лагунах, где накапливаются иногда слои мощностью в сотни метров. Галит представляет собой кристаллическую или сливную массу. Цвет породы в чистом виде — белый, голубой. Сильвинит состоит из смеси галита и сильвина, имеет молочно-белый или красный цвет; используется в качестве удобрения.

Железистые породы состоят в основном из рудных минералов — окислов (лимонита), карбонатов (сидерита), сульфидов (пирита) железа. Широко распространены окислы железа, образующиеся путем выпадения из воды в морях, озерах, болотах (бурые железняки).

Фосфатные породы осадочного происхождения представлены фосфоритами. Часто фосфориты образуются на дне морей в виде шаровых скопления — конкреций. Цвет их серый, буроватый, черный. Фосфориты являются сырьем для получения удобрений.

Углеродистые породы (горючие ископаемые). К этой группе относятся торф, уголь, битуминозные породы.

Торф — довольно рыхлая порода бурого или черного цвета, состоящая из полуразложившихся остатков растений. Образуется в болотах.

Угли — породы, образовавшиеся из растительных остатков, накапливающихся на дне мелких водоемов. Разновидности углей: бурый уголь — плотная темно-бурая или черная порода, дающая бурую черту, блеск матовый; каменный уголь — хрупкая порода черного цвета, черта черная или матовая, пачкает руки, блеск жирный; антрацит — плотная порода черного цвета с полуметаллическим блеском, рук не пачкает, состоит почти из чистого углерода и образуется из растительных остатков путем воздействия на них высоких температуры и давления.

Битуминозные породы — темные и черные, образуются из нефти при ее окислении. При накоплении битумов одновременно с тонкими илами образуются горючие сланцы. Примером битуминозных пород являются природные асфальты.

Практическое значение осадочных пород. Осадочные породы морского происхождения имеют значительно большее распространение, чем континентальные. Первое место по распространенности занимают глины, слагающие около 50% всех осадочных пород земной коры. Широко распространены также пески, песчаники, известняки, мергели, а также ангидриты и другие соляные породы. Непосредственно на поверхности Земли на больших площадях залегают суглинки и глины континентального происхождения.

Полезные ископаемые, встречающиеся в осадочных породах, весьма разнообразны. Важнейшие из них — железные и марганцевые руды, бокситы (руда на алюминий), нефть и газ, ископаемые угли, горючие сланцы, а также россыпные месторождения золота, платины, оловянного камня, граната, алмаза и др., образующиеся в результате разрушения первичных руд этих элементов магматического происхождения, переноса и переотложения продуктов разрушения поверхностными водами.

Многие осадочные породы (глины, пески, песчаники, известняки, доломиты, мергели и др.) сами являются полезными ископаемыми, используются как строительные материалы и техническое сырье. Как химическое сырье применяют многие минеральные соли — ангидрит, гипс, поваренную соль (галит), калийную соль и др., которые образуются в соленых озерах, лагунах и лиманах.

§ 7. **Метаморфические горные породы**

Осадочные и магматические породы, попадая в глубокие зоны земной коры, претерпевают изменения под влиянием высокой температуры, давления и поднимающихся из глубоких недр горячих водных растворов или газов. Изменения могут происходить и вблизи поверхности Земли под действием тепла внедрившихся интрузивных масс. Эти изменения заключаются в перекристаллизации вещества, замещении одних минералов другими, образовании новых структур и текстур. Вновь образованные горные породы называются метаморфическими, а процесс преобразования ранее существовавших осадочных и магматических пород в метаморфические — метаморфизмом.

Метаморфические породы состоят из возникающих при метаморфизме минералов, устойчивых в условиях высоких температур и давлений: кварца, калиевого полевого шпата, плагиоклазов, мусковита, биотита, роговой обманки, авгита, магнетита, серицита (тонкочешуйчатая разновидность мусковита), хлорита, талька, серпентина, граната, графита и др. Структура их — кристаллическая, текстура — сланцеватая (зерна вытянуты по длинным осям в одном направлении, перпендикулярном действовавшему давлению), полосчатая (чередуются полосы из зерен различного минерального состава), массивная, очковая (на фоне мелкокристаллической массы имеются округлые или овальные зерна).

В зависимости от характера и масштабов действующих факторов, определяющих вид метаморфизма (см. стр. 72), выделяются следующие метаморфические породы.

1. Породы регионального метаморфизма, характеризующиеся сланцеватыми текстурами; в зависимости от степени метаморфизма они представлены глинистыми и кровельными сланцами, кристаллическими сланцами и гнейсами, кварцитами, амфиболитами.

2. Породы динамометаморфизма, обычно с очковыми и сланцеватыми текстурами, например метаморфические брекчии, милониты.

3. Породы контактового метаморфизма, имеющие несланцеватую текстуру; к ним относятся роговики, скарны, грейзены.

Приведем описание основных метаморфических пород.

Глинистые сланцы — слабо метаморфизованные породы, образующиеся из глин. Это плотные сланцеватые породы серого или темно-серого цвета, состоящие из гидрослюд, хлорита, каолинита, кварца, полевых шпатов. При большей степени метаморфизации глин образуются кровельные, или аспидные, сланцы — черные плотные породы, состоящие из серицита, гидрослюд, кварца и хлорита с примесью органического вещества; они раскалываются по сланцеватости на ровные плитки.

При средней и частично сильной степени метаморфизации различных пород образуются *кристаллические сланцы*. Различают ортосланцы, образовавшиеся из магматических пород, и парасланцы — из осадочных. По преобладающему в сланцах минералу их называют слюдяными, хлоритовыми, тальковыми, кварц-серицитовыми, амфиболовыми и т. д. Кристаллические сланцы характеризуются сланцеватой текстурой, цвет их самый различный и обусловлен цветом слагающих их главных минералов или реже — примесей.

Так, на низшей стадии метаморфизации габбро и базальтов образуются зеленые сланцы, состоящие из хлорита, альбита и других цветных силикатных минералов. Дальнейшая их метаморфизация приводит к образованию амфиболитов — массивных крепких пород сланцеватой и волокнистой текстуры, состоящих из роговой обманки и плагиоклазов и имеющих цвет темно-серый до черного.

Гнейсы — сильно метаморфизованные горные породы, образовавшиеся из осадочных (парагнейсы) или магматических (ортogneйсы) пород. Гнейсы состоят преимущественно из кварца и полевых шпатов. Они имеют полосчатую (гнейсовую), реже сланцевую или очковую текстуру, кристаллическую, средне- или крупнозернистую структуру.

При метаморфизме кварцевых песков и песчаников образуются *кварциты* — крепкие горные породы, состоящие из прочно сцементированных зерен кварца. Кварциты обладают массивной, реже сланцеватой текстурой.

Железистые кварциты образуются в результате глубокой метаморфизации осадочных или вулканогенно-осадочных кварцево-железистых пород; представляют собой слоистую тонкополосчатую породу, в отдельных тонких слоях которой преобладает или кварц, или железистые минералы — магнетит, гематит и др. При содержании железа более 30% являются промышленной рудой; особенно велики запасы подобных руд в Курской магнитной аномалии.

Роговики — породы, образующиеся в результате воздействия интрузивных масс на вмещающие породы. Роговики представляют собой очень крепкие мелкозернистые породы массивной текстуры; в состав их входят кварц, слюда, полевые шпаты, гранат и др.

Скарны — породы, образующиеся на контакте карбонатных и интрузивных пород и состоящие из ироксенов, плагиоклазов, граната, рудных минералов. В скарнах содержатся многие полезные ис-

копаемые (медь, железо, олово, молибден, вольфрам, свинец, цинк и др.).

Грейзены возникают в результате изменения интрузивных и осадочных пород преимущественно кислого состава при действии на них газов и гидротермальных растворов, выделяемых интрузивным телом. Они имеют крупнокристаллическую структуру, сложены кварцем, светлыми литиевыми слюдами, флюоритом, топазом и некоторыми рудными минералами.

Мраморы — породы, состоящие из кальцита и образующиеся при метаморфизме известняков. Мраморы имеют зернисто-кристаллическую структуру, массивную текстуру. Цвет мраморов преимущественно белый, светло-серый, розовый.

Метаморфические породы содержат много полезных ископаемых — железо, медь, вольфрам и другие цветные и редкие металлы, слюды, асбест, тальк, строительные и отделочные материалы и др.

Контрольные вопросы

1. Что такое минералы? Каковы их основные физические свойства?
2. Что такое горные породы? Как их классифицируют по происхождению?
3. Каковы основные свойства горных пород?
4. Охарактеризуйте основные типы магматических горных пород.
5. Каковы формы залегания интрузивных тел?
6. Какие группы осадочных горных пород выделяют по условиям их образования?
7. Как классифицируют осадочные горные породы по форме и размерам обломков?
8. Какие основные метаморфические горные породы вы знаете?

ГЛАВА 3

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

§ 8. Общая характеристика геологических процессов

Процессы, происходящие на поверхности и в недрах Земли и изменяющие ее состав, структуру, рельеф и глубинное строение, называются геологическими. Различают экзогенные и эндогенные геологические процессы.

Экзогенные процессы происходят на поверхности Земли и в самых верхних частях земной коры и вызываются главным образом энергией солнечной радиации, силой тяжести Земли, силами притяжения Луны и Солнца, жизнедеятельностью организмов. Экзогенные процессы проявляются в разрушении горных пород под влиянием различных факторов (изменения температуры, растворения, окисления, действия организмов и т. д.); в перемещении продуктов разрушения под действием силы тяжести, посредством движущейся воды, ледников, ветра; в образовании новых осадочных пород.

Эндогенные процессы вызываются в основном внутренними силами Земли — энергией, выделяемой при преобразовании вещества

Земли (радиоактивный распад элементов и др.), силой тяжести и силами, возникающими при вращении Земли. С эндогенными процессами связаны движения земной коры (землетрясения, медленные опускание и подъем отдельных участков земной коры и др.), образование главных элементов рельефа Земли (материков, гор, океанических впадин), магматические и вулканические явления, метаморфизм горных пород.

Образование рельефа Земли и его изменение с течением времени определяются совместным действием эндогенных и экзогенных процессов. Наиболее крупные элементы рельефа — горы, равнины и впадины, в том числе глубокие океанические, — образуются под действием эндогенных процессов, проявляющихся в медленных или, наоборот, катастрофически быстрых перемещениях (восходящих или нисходящих) больших участков земной коры.

Действие экзогенных факторов заключается в сглаживании возникших под влиянием внутренних сил неровностей земной поверхности. Возвышенные и поднимающиеся участки земной коры расчленяются поверхностными водотоками на более мелкие элементы, срезаются сверху и с боков — подвергаются *денудации*. Под денудацией в широком смысле слова понимается совокупность процессов разрушения и сноса, удаления продуктов разрушения в пониженные участки. Агентами денудации являются гравитационное перемещение, работа проточных поверхностных и подземных вод, снега, льда, ветра, животных и растительных организмов. При длительном преобладании денудационных процессов над процессами поднятия земной коры на месте ранее существовавших гор образуются денудационные равнины — пенеплены, представляющие собой слабо всхолмленную, местами почти ровную поверхность (например, Казахская складчатая область в СССР).

Пониженные или опускающиеся участки земной поверхности, наоборот, заполняются продуктами разрушения и сноса. Совокупность процессов накопления рыхлых минеральных и органических осадков в пониженных частях земной поверхности называется *аккумуляцией*. В зависимости от действия того или иного агента различают аккумуляцию гравитационную, речную, озерную, ледниковую, морскую, эоловую (ветровую, Эол — бог ветра в древнегреческой мифологии), биогенную (за счет жизнедеятельности организмов) и техногенную (в результате деятельности человека). Таким образом, аккумуляция — процесс, противоположный денудации. В результате аккумуляции происходит заполнение рыхлыми осадками впадин, прогибов. Если интенсивность накопления осадков соответствует интенсивности прогибания земной коры, то на месте прогибов образуются низменные равнины (например, Прикаспийская низменность). Если прогибание участка земной коры идет быстро и прогиб не успевает заполниться осадками, то на его месте образуется водный бассейн.

Изучением форм рельефа земной поверхности, их происхождения и закономерностей географического распространения занимается наука *геоморфология*.

§ 9. Экзогенные процессы

Экзогенными процессами являются выветривание, геологическая деятельность ветра, поверхностных текучих вод, подземных вод, ледников, моря.

Выветривание. Под выветриванием понимают совокупность процессов физического разрушения и химического изменения минералов и горных пород под влиянием изменения температуры, химического воздействия воды и газов, биохимического воздействия живых организмов.

Преобладающая часть горных пород образовалась или претерпела изменения в недрах земной коры. Минералы, слагающие такие горные породы, устойчивы при высоких температурах и давлении без доступа к ним кислорода и других газов, присутствующих в атмосфере. Попадая на дневную поверхность в новые физико-химические условия, эти горные породы и слагающие их минералы под действием указанных выше факторов начинают разрушаться и образуют минералы и породы, устойчивые на поверхности Земли.

Различают физическое, химическое и органическое (биохимическое) выветривание.

Физическое выветривание сводится к механическому распаду породы на обломки различной крупности без изменения ее минерального состава. Чаще всего физическое выветривание вызывается колебаниями температуры (температурное выветривание). Более всего сказываются суточные изменения температуры. Днем породы нагреваются солнечными лучами, а ночью охлаждаются. Это приводит к последовательному увеличению и уменьшению их объема, расшатыванию связей между минеральными частицами, к растрескиванию и разрушению пород.

Физическое выветривание вызывается также чисто механическими воздействиями — замерзанием воды в трещинах пород, в результате чего объем ее увеличивается (на 10%) и порода разрывается (морозное выветривание), расширением трещин корнями деревьев, образованием кристаллов различных солей. Такое выветривание называется механическим и приводит по мере расширения трещин к раскалыванию монолитной породы на куски и глыбы.

Физическое выветривание особенно интенсивно происходит в областях с сухим и жарким климатом при наличии резких колебаний температуры в течение суток (например, в пустынях). На склонах гор горные породы разрушаются более интенсивно, чем на равнинах, так как обломки пород скатываются со склонов к их подножью, обнажая для выветривания новые горные породы. Неоднородный состав пород и поэтому неодинаковая их устойчивость против выветривания иногда приводят к образованию останцов — глыб твердых пород самой разнообразной формы (в виде столбов, башен и т. д.).

С процессами физического выветривания связаны такие неблагоприятные для народного хозяйства физико-геологические явления, как обвалы и осыпи.

Обвалы — это обрушения масс горных пород, происходящие обычно на крутых склонах. Обрушившаяся масса пород раскалывается на отдельные глыбы и куски, которые скатываются и откладываются у подножия склона. Обвалам подвержены как скальные, так и рыхлые и слабосцементированные породы, способные образовывать крутые склоны. Они особенно часто возникают при землетрясениях. Обвалы приносят вред дорожному и другим видам

строительства. Для борьбы с ними уменьшают уклоны склонов, строят подпорные стенки и т. д.

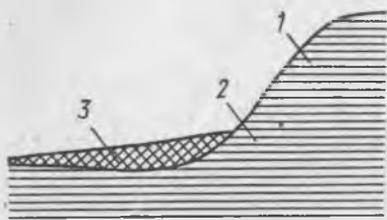


Рис. 12. Продольный разрез каменной осыпи:

1 — область питания (коренные породы); 2 — область транспортировки; 3 — область отложения

Осыпи представляют собой участки накопления продуктов физического выветривания горных пород, приуроченные к подножию склонов и имеющие пологовыпуклую форму.

В каждой осыпи выделяются область питания (наиболее высокие скалистые части склонов, от которых отделяются обломки пород), область транспортировки и область отложения — собственно осыпь (рис. 12).

По размерам обломков осыпи бывают крупнообломочные (глыбовые), среднеобломочные (щебеночные) и мелкообломочные (состоящие из дресвы или мелкой щебенки). Осыпи обычно постепенно перемещаются вниз по склону. Подвижность осыпи зависит от интенсивности поступления нового материала. По степени подвижности выделяют подвижные, достаточно подвижные, слабоподвижные и относительно неподвижные осыпи.

Осыпи затрудняют строительство и эксплуатацию железных и автомобильных дорог, осложняют промышленное и гражданское строительство. Мерами борьбы против осыпей являются одноразовая или периодическая уборка части осыпи, устройство подпорных стенок, защитных стенок над дорогами. В отдельных случаях при дорожном строительстве подвижные осыпи приходится обходить или устраивать тоннели для дорог.

Химическое выветривание вызывается изменением химического состава горной породы с образованием минералов, устойчивых в условиях земной поверхности.

Наиболее активными агентами химического выветривания являются вода, кислород, углекислота, органические кислоты. Химическое выветривание более интенсивно происходит в областях с влажным жарким климатом. Основные процессы химического выветривания — растворение, гидратация, гидролиз, окисление. Растворение — это переход твердого вещества в раствор. Гидратация заключается в поглощении минералами молекул воды, что приводит к образованию новых минералов; например, ангидрит CaSO_4 превращается в гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Гидролиз — это разложение минералов при их взаимодействии с водой и образование в результате этого

новых минералов; например, из полевых шпатов образуются гидрослюда, каолинит и другие минералы. Окисление происходит при взаимодействии элементов, входящих в состав того или иного минерала, с кислородом; например, при окислении пирита FeS_2 образуется бурый железняк — лимонит $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

При химическом выветривании изверженных пород образуются глины. Так, при выветривании магматических и метаморфических пород образуются каолиновые глины. Выветривание основных и ультраосновных пород приводит к образованию гидрослюд, гидрохлорита, монтмориллонита, гидроокислов железа, алюминия и др.

Органическое (биохимическое) выветривание проявляется в химическом преобразовании минералов и горных пород в результате жизнедеятельности организмов. Разрушая горные породы кислотами, выделяемыми корнями, растения извлекают из них различные необходимые им химические элементы.

Особенно велика в разрушении и химическом изменении горных пород роль микроорганизмов, которые выделяют различные органические кислоты. Почвы в значительной степени обязаны своим образованием жизнедеятельности бактерий. Без первичного воздействия микроорганизмов на горные породы растения не могли бы извлекать из них необходимые питательные вещества.

Остаточные продукты выветривания, которые накапливаются на месте разрушения первичных пород, называют *элювием*. Длительное накопление остаточных продуктов выветривания приводит к образованию *коры выветривания*, мощность которой может достигать десятков, а в отдельных случаях — 100 м и более. Наиболее мощной кора выветривания бывает в странах с жарким и влажным климатом.

Большое практическое значение имеет древняя кора выветривания, образовавшаяся в прошлые геологические периоды. В ней находятся месторождения многих полезных ископаемых: бокситов, каолинов, железа, никеля, марганца, гипса, россыпи золота, платины, алмазов и др.

С процессами выветривания самого верхнего слоя земной коры связано почвообразование. Почва представляет собой рыхлый поверхностный слой коры выветривания, состоящий из минерального и органического вещества. В образовании почвы большую роль играют климат и жизнедеятельность растений и микроорганизмов, которые извлекают из горных пород различные минеральные вещества, а при отмирании накапливают органическое вещество.

Продукты разложения органического вещества в условиях свободного доступа кислорода образуют различные соединения, идущие на питание растений.

Геологическая деятельность ветра. Ветер производит огромную геологическую работу главным образом по переносу и отложению (аккумуляции) мелких песчаных частиц, образовавшихся в результате разрушения горных пород под действием выветривания и других процессов. Однако ветер совершает и разрушительную по отно-

шению к горным породам работу: выдувает из них отдельные частички и обтачивает породы и их обломки при помощи переносимых им частичек песка. При выдувании (дефляции) в породе на месте трещин образуются углубления, ниши.

Большую геологическую работу ветер совершает в пустынных районах. Этому способствуют резкие суточные изменения температуры, приводящие к интенсивному физическому выветриванию пород, небольшое количество атмосферных осадков, почти полное отсутствие растительности и наличие мелких песчаных частиц — продуктов выветривания горных пород, способных перемещаться ветром.

В этих районах выдувание и связанный с ним процесс развевания мелких частиц пород принимает очень большие масштабы. Образующиеся пыльные бури наносят огромный ущерб народному хозяйству, выдувая полностью почвенный слой. В СССР проводятся специальные защитные меры для предохранения почвенного слоя от дефляции (посадка деревьев и кустарников, правильная распашка земель и др.).

Процесс обтачивания, шлифования, высверливания горных пород переносимыми ветром твердыми частицами называется *корразией*. Так как наибольшее количество частиц ветер переносит вблизи поверхности земли (до высоты 1—2 м), то больше всего обтачиваются нижние части скал. В результате этого образуются причудливой формы скалы — останцы (грибообразные, в виде башен и т. д.).

Если порода сложена зернами различных минералов, то под совместным воздействием физического выветривания и ветра ее поверхность становится ячеистой, напоминает внешне пчелиные соты.

Ветер переносит твердые частицы как во взвешенном состоянии, так и волочением. Размер переносимых ветром частиц зависит от его скорости. При скорости ветра 10 м/с он переносит песчинки размером до 1 мм, а при скорости 20 м/с — до 4—5 мм. Дальность переноса достигает сотен, а мелких пылеватых частиц — даже нескольких тысяч километров.

Одновременно с переносом частиц песка и пыли происходит их отложение — образуются *золотые континентальные отложения* — пески и лёссы.

Золотые пески характеризуются хорошей окатанностью и отсортированностью зерен по размеру. В их составе преобладают устойчивые к выветриванию минералы — такие, как кварц. Эти отложения песков имеют своеобразную, характерную для пустынь форму: кучевых песков, барханов, барханных цепей (поперечно-грядовых песков), продольно-грядовых песков, бугристых песков и др.

Кучевые пески накапливаются у различных препятствий, например у кустов растений, образуя возвышения.

Барханы представляют собой серповидной формы холмы с концами, заостренными в направлении движения ветра. Высота барханов от 1 до 15 м, а в отдельных случаях достигает 30 м. Слияясь

вместе, барханы образуют барханные цепи, напоминающие застывшие морские волны, вытянутые перпендикулярно направлению господствующих ветров.

Продольно-грядовые пески образуются в пустынях, где господствуют ветры одного направления; гряды эти узкие, длинные, симметричные, вытянутые в направлении движения ветра.

Бугристые пески имеют вид отдельных холмов высотой до 8 м и более. Они широко распространены в СССР в пустынях Каракум и Кызылкум.

На песчаных побережьях морей и больших озер при направлении ветра к берегу образуются песчаные холмы — дюны, достигающие высоты 25—30 м.

Лёссы и лёссовидные отложения относятся к алевритовым породам. До сих пор еще нет единой точки зрения на их происхождение.

Наибольшим признанием пользуется гипотеза об эоловом происхождении лёсса, выдвинутая академиком В. А. Обручевым. Как уже говорилось, лёсс представляет собой неслоистую породу светло-желтого или серовато-желтого цвета, сильно карбонатную, с высокой пористостью, обусловленной наличием вертикальных канальцев. Лёссовые породы

откладываются в виде покровов мощностью до нескольких десятков метров. Они широко распространены в Китае, США. В СССР встречаются в Средней Азии, УССР, на Северном Кавказе.

В естественных обнажениях и в искусственных выемках лёссы образуют вертикальные стенки.

Геологическая деятельность поверхностных текучих вод. Выпадающие на поверхность Земли атмосферные осадки частично просачиваются вглубь по порам и трещинам, пополняя запасы подземных вод, частично испаряются, частично стекают по поверхности, производя огромную геологическую работу по размыву и разрушению горных пород, сносу, перемещению и отложению продуктов разрушения.

Выпавшие атмосферные осадки вначале стекают по поверхности склонов в виде многочисленных струек, смывая тонкие частицы продуктов выветривания. По мере выравнивания склонов скорость движения воды уменьшается и частицы начинают оседать. В результате на нижних частях склонов накапливаются отложения, которые называются *делювиальными (делювием)* (рис. 13). Наиболее распространены делювиальные отложения из суглинков; однако делювий может состоять также из более крупнообломочных пород — песков, дресвы, щебенки и др. Процесс образования делювия носит название плоскостного смыва.



Рис. 13. Схема образования делювия:

- 1 — первоначальная поверхность склона;
- 2 — сниженная в результате плоскостного смыва поверхность склона;
- 3 — делювий

Отдельные струйки, сливаясь, образуют более мощные струи, струи — ручьи, ручьи — реки. Более мощные струи образуют промоины, рытвины, постепенно разрастающиеся в овраги. Так происходит процесс размыва и разрушения пород текучими водами, который называется *эрозией*.

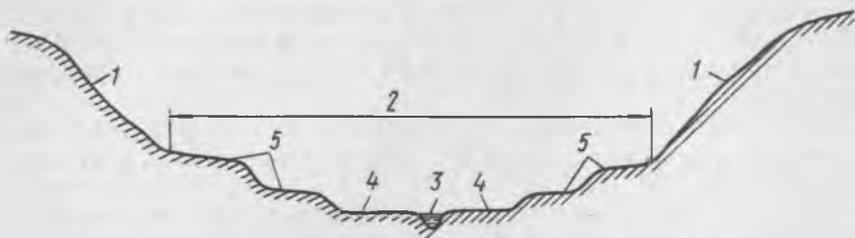


Рис. 14. Элементы речной долины

Различают эрозию *донную*, или *глубинную*, заключающуюся в углублении водным потоком своего русла, и *боковую*, ведущую к подмыву берегов русла. Благодаря глубинной и боковой эрозии водные потоки формируют глубокие и широкие речные долины — вытянутые длинные ложбины, имеющие уклон в соответствии с течением рек от верховьев к низовьям.

Элементами речной долины являются ее склоны 1 и дно 2 (рис. 14), русло реки 3, пойма 4 и террасы 5. Русло — наиболее пониженная часть речной долины, по которой происходит сток воды в маловодные периоды. Пойма — часть дна долины, затопляемая только в половодье. Террасы — горизонтальные или слегка наклонные площадки на склонах речной долины, представляющие собой остатки ее прежнего дна.

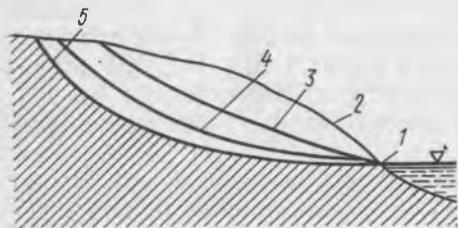


Рис. 15. Продольный профиль речной долины:

1 — базис эрозии (уровень моря, озера);
2, 3, 4 — последовательные стадии выработки профиля долины; 5 — профиль равновесия

Глубинная эрозия преобладает в начальной стадии развития речной долины, когда река на всем своем протяжении старается врезаться в горные породы до уровня того водоема, в который она впадает. Этот уровень называют *базисом эрозии*. Долина реки постепенно углубляется в направлении от ее устья (базиса эрозии) к истокам. По мере углубления долины уклон ее дна постепенно уменьшается, поэтому скорость течения и интенсивность глубинной эрозии также уменьшаются — река выработывает профиль равновесия (рис. 15).

Глубинная эрозия на отдельных участках некоторых рек задерживается наличием в ложе реки очень крепких пород, слабо под-

дающихся размыву. В этом случае река образует пороги и водопады (рис. 16).

Боковая эрозия происходит одновременно с глубинной, причем ее интенсивность возрастает по мере выработки рекой профиля равновесия.

В зависимости от стадии развития речной долины меняется и форма ее поперечного сечения. На ранних стадиях развития (в молодых горных странах) долины имеют вид узких теснин (щелей) и каньонов с отвесными стенками. Последующее развитие долины меняет ее форму на V-образную. По мере выработки рекой профиля равновесия и усиления боковой эрозии долина приобретает плоскодонную форму. В последней стадии долина имеет неясно выраженную форму и очень пологие склоны, незаметно переходящие в водораздельные пространства.

Реки переносят огромное количество продуктов разрушения горных пород, образовавшихся в результате как выветривания, так и эрозии горных пород. Переносимый рекой материал, в свою очередь, способствует разрушению встречающихся на пути реки горных пород.

Продукты разрушения горных пород переносятся рекой в растворенном, взвешенном и влекомом состоянии.

При уменьшении в каком-либо месте реки скорости течения там происходит аккумуляция влекомого и взвешенного материала. При увеличении со временем скорости водного потока отложившийся материал может вновь частично размываться и переноситься вниз по течению. Однако по мере выработки рекой профиля равновесия накапливаются все более устойчивые, неразмываемые отложения. Эти отложения называют *аллювиальными (аллювием)*. Они обычно состоят из обломочных пород различной степени окатанности и крупности; для горных рек характерны валунно-галечниковые породы, для равнинных — песчаные, суглинистые и глинистые. Однако даже в одной и той же долине крупность частиц аллювия может быть различной в зависимости от места его отложения: частицы руслового аллювия, образуемого водами русла, более крупные (песчаные, гравийные), чем пойменного, который отлагается при небольших скоростях течения воды (суглинистые и глинистые частицы).

Речные террасы могут быть как образованы в коренных породах, так и сложены аллювием. В первом случае они называются эрозионными (рис. 17), во втором — аккумулятивными. Террасы образуются в результате изменения высотного положения базиса эрозии, а

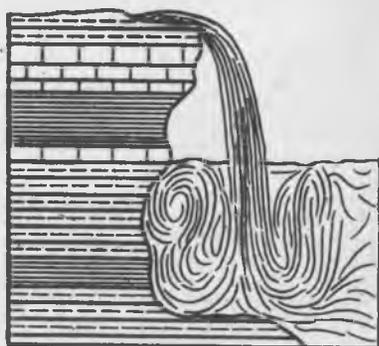


Рис. 16. Водопад в ложе реки

также поднятия или опускания земной коры в каком-либо участке речной долины. Река при этом врезается в уже сформировавшееся дно долины, а остающиеся участки дна долины образуют террасы. Чем выше терраса над уровнем реки, тем она древнее. Самыми молодыми являются пойменная (затопляемая в паводок) и надпойменная террасы.

В горных странах распространены временные и селевые потоки. *Временные потоки* образуются только в периоды сильных дождей или таяния снега на крутых склонах гор, где вырабатывают себе

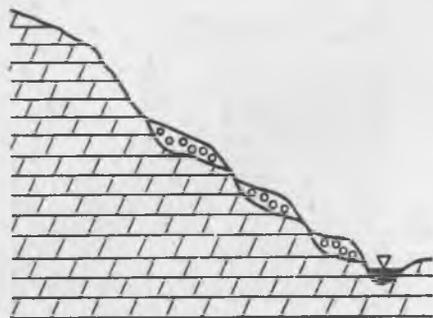


Рис. 17. Эрозионные террасы, образовавшиеся в результате размыва коренных пород

ложбины стока. Они увлекают с собой огромное количество обломочного материала (пыль, песок, щебень, глыбы), образовавшегося в результате выветривания горных пород. При выходе потоков на предгорную равнину скорость движения воды резко уменьшается, и переносимый потоком материал откладывается у подножия склонов в виде конуса выноса. Отложения конусов выноса — пролювий — это плохо отсортированные глыбы, валуны, щебень, галечники, песчано-глинистые породы, причем

крупность обломочных пород уменьшается по направлению от гор к равнине.

Конусы выноса образуют также горные реки при выходе их на предгорную равнину.

Селевые потоки, или *сели*, — это бурные грязекаменные потоки, передвигающиеся по руслам горных рек с большой скоростью и обладающие огромной разрушительной силой. В СССР сели известны на Кавказе, в Средней Азии.

Явления, связанные с деятельностью поверхностных вод, — эрозия, селевые потоки — приносят огромный ущерб народному хозяйству. Дождевые и талые воды при плоскостном смыве разрушают почвенный покров. Глубинная эрозия приводит к образованию промоин и оврагов, следовательно, уменьшает полезную площадь сельскохозяйственных земель и затрудняет их обработку. Оврагообразование осложняет также дорожное и другие виды строительства.

Для борьбы с оврагообразованием необходимо проводить лесопосадки, регулировать поверхностный сток, укреплять днище оврагов для предотвращения дальнейшего их размыва, засеивать склоны оврагов многолетними травами.

Селевые потоки обладают огромной разрушительной силой. Они представляют угрозу не только для дорог, домов, но и для больших населенных пунктов, расположенных на их пути. Примером могут служить селевые потоки, спускавшиеся с гор по реке Алмаатинке

и приносившие Алма-Ате значительные разрушения (в 1921, 1950 и 1956 гг.). Только после строительства в 1966 г. противоселевой плотины в долине Алмаатинки угроза селей для города была ликвидирована. Борьба с селями заключается не только в строительстве плотин для задержания селей. Важны также меры, предупреждающие возникновение селевых потоков: запрещение вырубki леса и кустарников, организация лесопосадок на склонах гор, регулирование стока талых и дождевых вод в верховьях рек, сооружение в долинах селеопасных рек наносоуловителей (глубоких бассейнов и каменных набросных плотин, которые задерживают твердые частицы, но пропускают воду).

Геологическая деятельность подземных вод. Воды, находящиеся в породах и трещинах горных пород, называются подземными. Подробные сведения об их происхождении, распространении, законах движения, химическом составе изложены в разделе «Гидрогеология».

С деятельностью подземных вод связаны такие физико-геологические явления, как карст, суффозия, пльвуны, оползни.

Способность воды растворять минералы и горные породы (каменную соль, гипс, ангидрит, известняк, доломит и др.) приводит к образованию *карста*. Под карстом понимают явления, связанные с деятельностью подземных вод и выражающиеся в растворении горных пород и образовании в них пустот, а также в создании характерных форм рельефа местности. Иногда карстом называют сами пустоты, возникшие в результате растворения пород подземными водами, хотя в этом случае правильнее употреблять термины «карстовые формы», «карстовые пустоты».

Многие районы суши с поверхности сложены растворимыми породами. Здесь развиваются поверхностные формы карста, к которым относятся карры, поноры, карстовые воронки, карстовые котловины и поля, карстовые колодцы и шахты.

Карры представляют собой бороздообразные углубления глубиной от нескольких сантиметров до 1—2 м, тянущиеся в направлении уклона поверхности. Образуются они при растворении и размыве пород вдоль трещин. Развитие карров на больших площадях приводит к образованию карровых полей.

Поноры — это вертикальные или наклонные отверстия, поглощающие поверхностные воды. Развитие поноров приводит к образованию карстовых воронок. Глубина воронок может достигать 20 м, диаметр — 50 м и даже более. На дне воронок обычно имеются отверстия, через которые вода уходит в глубину. Воронки часто образуются из-за обрушения сводов подземных карстовых полостей.

Дальнейшее развитие карста приводит к образованию карстовых котловин и полей — вытянутых впадин с крутыми, часто отвесными стенками. Некоторые поля, вероятно, образовались в результате обрушения кровли над вытянутыми карстовыми пустотами (пещерами).

Карстовые колодцы и шахты представляют собой крупные отверстия, уходящие вглубь на десятки и сотни метров.

Из подземных карстовых форм можно выделить закарстованные трещины, т. е. трещины, расширенные из-за растворения пород водой, а также карстовые пещеры и каналы. Пещеры представляют собой вытянутые почти горизонтально пустоты, то расширяющиеся до огромных залов и гротов, то сужающиеся до узких каналов. Пещеры иногда достигают в длину десятков и даже сотен километров (Мамонтова пещера в США имеет длину около 240 км). В СССР большие пещеры известны в Пермской области (Кунгурская пещера), в Крыму, на Кавказе (карстовые пещеры в верховьях р. Хосты и др.). Пещеры часто имеют несколько этажей, что объясняется изменением базиса эрозии.

В карстовых пещерах в связи с выпадением из воды карбонатных солей (кальцита) образуются натечные формы — сталактиты и сталагмиты. Из капель воды, просачивающейся из потолка пещеры, на нем образуются сталактиты, имеющие вид свисающих вниз сосулков. Упавшие на пол капли воды, выделяя карбонатные соединения, образуют сталагмиты.

Развитие карстовых форм рельефа неблагоприятно влияет на сельскохозяйственное освоение территорий, затрудняет строительство плотин и каналов, железных и шоссейных дорог, промышленных предприятий и населенных пунктов. Карст затрудняет также разработку месторождений полезных ископаемых из-за больших притоков воды в горные выработки из карстовых полостей. Наблюдаемые при бурении провалы бурового инструмента, поглощение промывочной жидкости, малый выход керна указывают на наличие карстовых пустот.

Степень закарстованности пород и территорий оценивают несколькими методами; широко распространен метод определения закарстованности территорий путем подсчета количества воронок, карстовых колодцев, озер и других карстовых форм, приходящихся на единицу площади. Более точную характеристику дает определение объема пустот в карстующемся массиве пород; разделив объем карстовых пустот на объем всего массива пород, получают коэффициент закарстованности пород.

С глубиной закарстованность пород уменьшается, что связано со снижением степени трещиноватости пород, а следовательно, их проницаемости, с уменьшением скорости движения и растворяющей способности подземных вод.

Мерами борьбы с карстом являются: 1) отвод поверхностных вод от карстующихся массивов пород; 2) искусственное обрушение кровли карстовых пустот или заполнение их глинистыми породами (например, при строительстве дорог); 3) цементация, битумизация, силикатизация карстующихся пород в основаниях плотин и других инженерных сооружений; 4) осушение участков разрабатываемых месторождений полезных ископаемых путем устройства дренажа подземных вод (откачка воды из скважин, шахтных стволов и других горных выработок).

Суффозией называют процесс выноса мелких частиц породы движущейся подземной водой. Различают механическую и химическую

суффозию. Под механической суффозией понимают разрыхление песчаных пород (обычно не содержащих растворимых веществ) и вынос из них мелких частиц движущейся водой. При химической суффозии происходит растворение и выщелачивание из породы водорастворимых солей (каменной соли, гипса и др.) и вынос их током движущейся воды.

Механическая суффозия наиболее часто происходит в мелкозернистых песках по берегам рек, оврагов при наличии так называемого гидродинамического давления. Это давление создается при

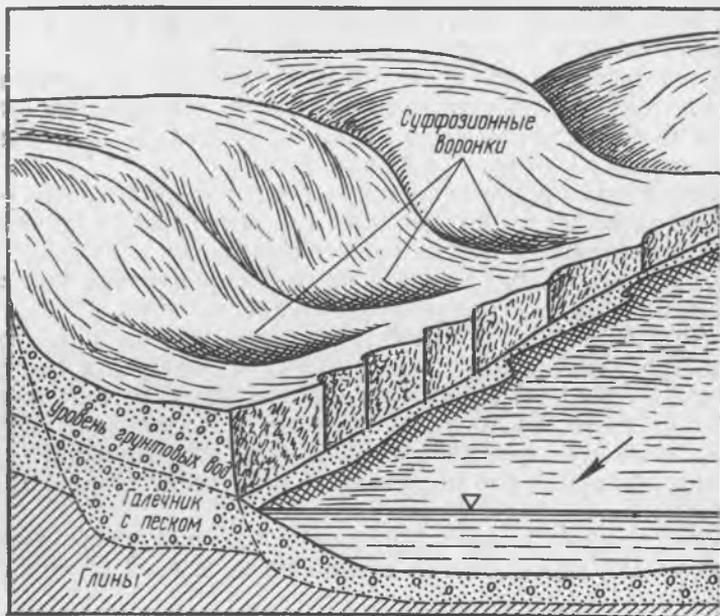


Рис. 18. Суффозионные воронки у основания склона речной долины

крутых уклонах поверхности подземных вод; оно обуславливает большие скорости движения подземных вод, «взвешивание» и вынос песчаных частиц. Суффозия приводит к осадке поверхности Земли и образованию суффозионных воронок (рис. 18). Суффозия может наблюдаться также в основаниях плотин, в откосах и дне котлованов, стенках тоннелей, в горных выработках и т. д. Суффозия в основании сооружений может привести к неравномерной осадке и даже разрушению сооружений, в горных выработках — к их обрушению. С суффозией связано образование пустот (пещер, ходов) в глинах и лёссах в условиях засушливого климата (Средняя Азия, Азербайджан); это явление получило название глиняного, или лёссового, карста.

Мероприятия по предупреждению суффозии следующие: 1) предотвращение поступления воды в породы, подверженные суффозии, путем отвода поверхностных вод или устройства дренажа подземных вод; 2) уменьшение скорости движения подземных вод путем изменения конструкций сооружений (например, перед плотинами дно водохранилища покрывают водонепроницаемым слоем для уменьшения скорости фильтрации воды под плотинами); 3) искусственное улучшение свойств пород в основании сооружения путем цементации, силикатизации и т. д.

Способность рыхлых пород при насыщении их водой приходить в текучее состояние называют *пльвунностью*, а сами такие породы в насыщенном водой состоянии — *пльвунами*.

Наиболее часто в пльвунное состояние приходят тонкозернистые пески с пылеватыми илистыми частицами. В естественном состоянии пльвуны неподвижны. Они начинают двигаться под воздействием динамических нагрузок или вибрации.

Пльвуны сильно осложняют проходку горных выработок — котлованов, стволов шахт и др., а также строительство различных сооружений. Котлованы и другие горные выработки заплывают пльвунными песками, причем удалить их очень трудно, так как в процессе выемки породы непрерывно наступает пльвун.

Трудности возникают и при встрече с пльвунами при бурении скважин. Прорвавшийся в скважину пльвун образует в стволе так называемые пробки, от забоя скважины пльвун под давлением устремляется вверх по обсадной колонне, обволакивает буровой снаряд и прочно его «прихватывает». Иногда этот «прихват» оказывается таким сильным, что не позволяет извлечь из скважины буровой инструмент.

Особенно опасен прорыв пльвунов в подземные горные выработки. Он не только осложняет их проходку, но и создает опасность для людей.

Основными мерами борьбы с пльвунами являются: 1) искусственное осушение водонасыщенных пород с пльвунными свойствами (откачка воды из скважин, оборудованных специальными фильтрами для мелко-тонкозернистых песков или иглофильтрами); 2) крепление стенок горных выработок при помощи шпунтовой или забивной крепи, опускных колодцев; 3) замораживание пльвунов на участке, где ведется проходка котлована или другой горной выработки; 4) проходка пльвунов кессонным способом (при помощи сжатого воздуха); 5) силикатизация пльвунов.

Оползни — это смещения масс горных пород по склону под действием силы тяжести, часто связанные с деятельностью поверхностных и подземных вод. Оползни распространены очень широко и происходят чаще всего на склонах долин рек, оврагов, на берегах морей и озер, а также на откосах искусственных выемок (котлованов и др.). Они приносят большой вред инженерным сооружениям (плотинам, промышленным предприятиям, жилым зданиям, дорогам и др.) и требуют больших затрат для борьбы с ними.

Оползанию подвержены преимущественно глинистые породы,

особенно когда они увлажнены. Образованию оползней способствуют подмыв оползневого склона рекой или морем, подрезка нижней части склона при строительных работах, застройка поверхности оползневого склона, увлажнение пород поверхностными или подземными водами и некоторые другие факторы.

В каждом оползне различают (рис. 19) поверхность скольжения, подошву оползня, глубину захвата склона оползнем, оползневые цирки и тело оползня.

Поверхность, по которой отрывается и движется оползень, называется поверхностью скольжения. Она может быть плоской (если движение происходит по поверхности напластования), близкой по форме к цилиндрической (у однородных глин), волнистой или ломаной (если поверхность скольжения пересекает несколько пластов или проходит по тектоническому разлому). Для выявления положения и формы поверхности скольжения бурят скважины или шурфы.

Подошва оползня (или базис оползания) — это линия пересечения поверхности скольжения со склоном ниже оползня. Подошва оползня является его нижней границей; она может совпадать с подошвом склона, быть выше или ниже его. На одном склоне могут находиться несколько оползней; такие оползни называют многоярусными.

Глубина захвата склона оползнем — это кратчайшее расстояние от верхней поверхности оползня до поверхности скольжения (по нормали к поверхности оползня).

Оползневый цирком называют выемку, образовавшуюся на склоне в результате оползания оторвавшегося от склона массива пород. Весь массив оползших пород называют телом оползня.

Разновидностью оползней являются *оплывины*. Они представляют собой относительно небольшие смещения делювиальных глинистых отложений на склонах или насыпных глинистых грунтов на искусственных откосах, вызванные разжижением пород в периоды снеготаяния или дождей.

Меры борьбы с оползнями могут быть пассивными и активными. К пассивным мерам относятся запрещение подрезок склонов, устройства на склонах выемок и строительства сооружений, полива земельных участков на склонах, а также сохранение на склонах травянистой и древесно-кустарниковой растительности.

Активными мерами являются отвод поверхностных (дождевых, талых снеговых) и подземных вод от оползневого склона, устройст-

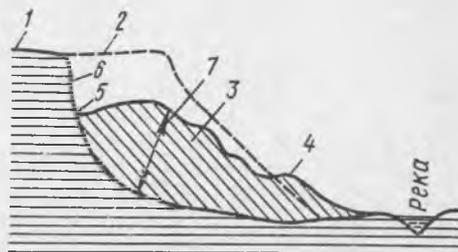


Рис. 19. Схема строения оползня:

1 — ненарушенный склон; 2 — первоначальное положение склона; 3 — тело оползня; 4 — поверхность скольжения; 5 — подошва оползня; 6 — оползневый цирк; 7 — глубина захвата склона оползнем

во берегоукрепительных сооружений (каменная облицовка, бетонирование и пр.) для предотвращения подмыва оползневых берегов рекой или морем, устройство сооружений, удерживающих земляные массы (свай, забиваемых через все тело оползня в несмещающиеся породы, подпорных стенок и др.), съем оползневых масс до устойчивых пород.

В СССР оползни особенно широко развиты в долинах рек Волги, Днепра, на побережье Черного моря (Одесском, Крымском, Кавказском), во многих районах Средней Азии.

Геологическая деятельность подземных вод заключается также в образовании многих вторичных минералов, заполняющих трещины в горных породах. Подземная вода представляет собой сложный химический раствор; в определенных условиях из такого раствора в осадок выпадают различные соли (карбонатные, сульфатные и др.), которые заполняют трещины и другие пустоты в горных породах. Наиболее часто в трещинах откладываются кальцит, гипс, окислы железа.

Геологическая деятельность ледников. Как известно, температура воздуха понижается не только от экватора к полюсам, но и с увеличением высоты (на $0,5-0,6^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м). Даже на экваторе на вершинах высоких гор температура отрицательная и лежит снег. Граница, выше которой сохраняется снежный покров, называется снеговой линией. Высота снеговой линии увеличивается от полюсов, где она расположена на уровне моря, к экватору, где достигает 5—6 км.

Накапливаясь в горах, снег постепенно уплотняется, превращаясь в зернистый лед — фирн, а фирн превращается в монолитный, чистый, прозрачный, голубой глетчерный лед. Так образуются *ледники* — скопления льда, медленно движущиеся в сторону понижения рельефа.

Ледники производят большую разрушительную работу, видоизменяют рельеф земной поверхности. Они переносят огромное количество обломочного материала — продуктов разрушения пород, а при таянии откладывают его. Так образуются ледниковые отложения.

Ледники подразделяются на три типа: горные, материковые (покровные) и промежуточные.

Горные ледники находятся в горных районах. Ледники накапливаются на склонах гор, а затем движутся вниз по долинам, постепенно стаявая и оставляя обломочный материал. Ледники образуются также в креслообразных углублениях с крутыми стенками (карах).

Материковые ледники с большой мощностью льда покрывают целые континенты и крупные острова (Антарктида, Гренландия), поэтому их называют покровными.

Промежуточные ледники приурочены к плоскогорьям — выровненным поверхностям древних гор — и к предгорным участкам широких долин (например, многие ледники Аляски).

Двигаясь, ледник отрывает, срезает со своего ложа обломки

горных пород — от глинистых и пылеватых частиц до крупных глыб и валунов. В процессе движения крупные обломки истираются, округляются, участвуя в то же время в разрушении и сглаживании ложа ледника. Так образуются «бараньи лбы» — сглаженные ледником выступы крепких коренных пород. Часто на таких скальных выступах пород имеются многочисленные шрамы, борозды, царапины.

Ледник при своем движении вырабатывает долины корытообразного сечения — трюги. В верховьях таких долин ледники часто вырабатывают чашеобразные котловины — ледниковые цирки.

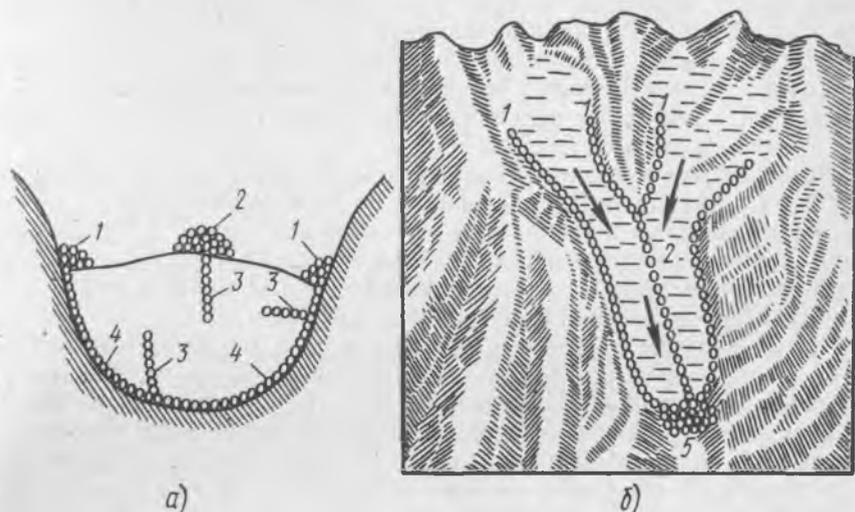


Рис. 20. Схема расположения морен в поперечном сечении ледника (а) и в плане (б)

Обломочный материал, захватываемый ледником, переносимый и откладываемый им, называется *мореной*. Морены подразделяются на движущиеся и отложенные.

К движущимся относятся боковая морена 1 (рис. 20) — отложения обломочного материала по бокам ледника в виде вытянутых в длину валов или гряд, срединная морена 2 — отложения также в виде вытянутых гряд, образующихся при слиянии двух ледников, внутренняя морена 3 — обломочный материал внутри тела ледника, донная морена 4 — обломочный материал в придонной части ледника.

Отложенные морены образуются при отступании ледника, т. е. при его таянии. К ним относятся конечная 5 и основная морены. Конечная морена имеет вид гряды и образуется путем отложения обломочного материала в конце ледникового языка. Основная морена образуется путем отложения обломочного материала на площади растаявшего тела ледника (из боковой, срединной, внутренней и донной морен).

Моренные отложения представлены чаще всего суглинками с включением гравийных частиц и валунов.

После таяния ледника рельеф местности приобретает холмистый характер — хаотически расположенные холмы из обломочного материала чередуются со впадинами, часто заполненными водой. Поэтому в районах бывшего оледенения очень много озер.

Образующиеся в период таяния ледника водные потоки размывают и перекладывают моренные отложения. В результате возникают *водно-ледниковые*, или *флювиогляциальные отложения*, представленные в основном песчано-гравелистыми породами. В ледниковых озерах откладывались глины с прослойками из тонких песков; такие глины получили название ленточных.

В области распространения флювиогляциальных отложений характерной формой рельефа являются холмистые равнины — *зандры*; встречаются также отдельные холмы высотой 10—12 м — *камь* и узкие гряды высотой 5—50 м — *озы*.

Многолетняя мерзлота. Под многолетне-мерзлыми породами понимают горные породы, залегающие на некоторой глубине и имеющие отрицательную температуру в течение всего года. В СССР площадь, занятая многолетней мерзлотой, составляет 49,7% всей территории страны. Мощность многолетне-мерзлых пород в отдельных районах Северо-Востока СССР превышает 500 м.

Самый верхний от поверхности Земли слой пород, оттаивающий летом и промерзающий зимой, называется *деятельным*. Мощность его небольшая (0,5—1,5, реже 3—5 м). Под крупными реками и озерами среди многолетне-мерзлых пород имеются зоны с положительными температурами — *талики*. В зимнее время в таликовых зонах породы промерзают сверху и с боков, и вода оказывается зажатой со всех сторон мерзлыми породами; прорывая себе путь на поверхность Земли, растекаясь и замерзая, вода образует наледи.

При промерзании деятельного слоя в нем образуются линзы льда, приподнимающие верхние слои пород. Так формируются *бугры пучения*. При таянии ледяных линз в толще пород образуются *провалы земной поверхности*. Это явление получило название *термокарста*. Термокарстовые воронки часто заполняются водой, образуя озера.

Геологическая деятельность морей. Океаны и моря занимают 361 млн. км², что составляет 70,8% всей поверхности Земли. Они вмещают огромный объем воды — около 1340 млн. км³, находящейся в непрерывном взаимодействии с сушей. Вода разрушает горные породы, слагающие берега и дно океанов и морей, перемещает продукты разрушения и откладывает их в виде осадков.

В зависимости от рельефа дна в океанах выделяют четыре зоны: *шельф* (или материковую отмель), *материковый* (континентальный) *склон*, *ложе океана* и *глубоководные впадины* (рис. 21).

Шельф примыкает непосредственно к суше и характеризуется пологим наклоном дна до глубины 200 м. Ширина шельфа изменяется от нескольких километров до нескольких сотен километров. Область шельфа отличается большим разнообразием и богатством

органического мира, а также интенсивной разрушительной работой водных масс (из-за сильных волнений, приливов и отливов).

Волны, набегая на берег, разрушают слагающие его горные породы (разрушительную работу волн называют *абразией*). В нижней части крутых берегов образуются волноприбойные ниши, над которыми горные породы нависают в виде карниза. Увеличение ниши приводит к обрушиванию ее кровли, смыву обломков пород и к образованию новой ниши. Береговой обрыв постепенно отступает в сторону суши, а между обрывистым берегом и морем образуется абразионная терраса, которая большей частью бывает затоплена водой (за исключением узкой полосы вдоль обрыва — пляжа).

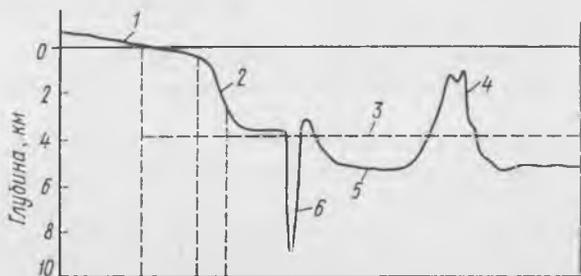


Рис. 21. Обобщенный профиль дна океана:

1 — материковая отмель (до 200 м); 2 — континентальный склон (до 2500 м); 3 — средняя глубина океана; 4 — срединный хребет; 5 — ложе океана (более 2500 м); 6 — глубоководная впадина (более 6000 м)

Материковый склон расположен на глубинах от 200 до 2500 м и характеризуется более крутым, чем у шельфа, уклоном дна. В пределах материкового склона встречаются глубокие подводные каньоны, иногда глубиной до 3,5 км. Некоторые каньоны являются подводным продолжением крупных рек, другие связаны с эрозионной деятельностью подводных потоков.

Материковый склон переходит в материковое подножие, а оно — в ложе океана. На относительно плоском океаническом дне встречаются срединные хребты, куполовидные возвышенности вулканического происхождения, а также *глубоководные впадины* (желоба). Наибольшую глубину (11 022 м) имеет Марианская впадина. Ширина глубоководных впадин небольшая, склоны их крутые, часто ступенчатые.

Как уже говорилось, морские отложения делятся на обломочные (их еще называют терригенными), органогенные и химические. Все эти осадки образуются на определенных глубинах и свойственны той или иной зоне дна океана.

В прибрежной зоне морей и океанов, периодически затопляемой во время приливов и осушаемой во время отливов, накапливаются крупные сглаженные водой глыбы, галька, песок, иногда илы. Вдоль морских берегов в полосе прибоя, т. е. на месте опрокидыва-

тия набегающих на берег волн, образуются береговые валы, сложенные галькой, гравием и песком.

В зоне шельфа (материковой отмели) накапливаются осадки всех типов — терригенные, органогенные и химические. Наиболее распространены терригенные осадки, представленные глыбами, валунами, галечниками, гравием, песками, алевритами и глинами. Крупность частиц уменьшается по мере увеличения глубины.

Органогенные осадки в зоне шельфа представлены ракушечниками и коралловыми рифами. Ракушечники состоят из известковых раковин с примесью терригенного материала. Коралловые рифы образуются в тропических зонах океанов и морей путем разрастания колоний коралловых полипов — организмов, живущих в трубкообразных известковых камерах.

Химические осадки выпадают из морской воды в виде различных соединений — карбонатных, железистых, марганцовых, фосфорных и др.

В зоне материкового склона осадки бывают терригенными и органогенными. К терригенным осадкам относятся «синий» ил, состоящий из алеврито-глинистых частиц; «красный» ил, по составу близкий к «синему», его цвет — красный или бурый — объясняется присутствием окислов железа; «зеленый» ил — отличается от «синего» и «красного» большей крупностью частиц, часто состоит исключительно из мелких песков. Органогенные осадки — это известковые илы, образующиеся путем накопления остатков мелких морских организмов — планктона.

В зоне ложа океана осадки в связи с удаленностью от суши содержат мало терригенного материала и представлены органогенными илами — глобигериновыми (известковистыми), радиоляриевыми и диатомовыми (кремнистыми). Эти илы образованы путем накопления мелких известковых либо кремнистых раковин или панцирей морских организмов — фораминифер, радиолярий, диатомовых водорослей. Все эти осадки глубоководные. Кроме того, в зоне ложа океана на глубине более 4 км образуется красная океаническая глина, состоящая из очень тонких глинистых частиц и размельченных нерастворимых остатков раковин фораминифер.

Накопившиеся морские осадки в результате сложного и длительного процесса, называемого диагенезом, превращаются в плотные осадочные горные породы.

Геологическая роль озер и болот. Озера представляют собой замкнутые водоемы, образованные в углублениях суши. Если через озеро протекает река, оно называется проточным. Проточными являются также искусственные водоемы — водохранилища.

Геологическая работа озер и водохранилищ заключается в разрушении, переработке (абразии) берегов и в отложении осадков — терригенных, химических и органогенных. Терригенные осадки, образуемые за счет разрушения берегов и приносимого реками и ветром обломочного материала, могут состоять из обломков различной крупности: глыб, валунов, гальки, гравия, песка, алеврито-глинистых частиц. Химические осадки образуются путем осаждения рас-

творенных в воде примесей — солей; они характерны в основном для соляных озер. В озерах образуются карбонатные соли (кальцит, доломит, сода), галит, калийные соли, гипсы, ангидриты и т. д. Органические осадки озер составляют сапропели — органические илы, образующиеся при накоплении остатков мелких организмов (планктона) и растений, разлагающихся без доступа кислорода.

Процессы абразии берегов наблюдаются как у естественных водоемов — океанов, морей и озер, так и у искусственных — водохранилищ, причем в последнем случае они происходят более интенсивно и называются переработкой берегов водохранилищ. Эта переработка приводит к смыву береговой полосы шириной от нескольких десятков до нескольких сотен метров, что значительно сокращает площади сельскохозяйственных угодий, заставляет переносить на новые места населенные пункты и промышленные предприятия. Образующиеся на водохранилищах в результате переработки берегов мели затрудняют судоходство.

Защита берегов водохранилищ от переработки заключается в планировке береговых откосов и посадке на них деревьев и кустарников, укреплении берегов наброской камня, бетонными плитами, асфальтовым покрытием, в устройстве бетонных или свайных подпорных стенок у основания берега и др. Подобные же мероприятия проводятся для защиты от абразии берегов естественных водоемов.

Болотами называют избыточно увлажненные участки земной поверхности, характеризующиеся развитием болотной растительности и образованием торфа.

По условиям питания, характеру растительности и форме поверхности болота подразделяются на низинные, верховые и переходные. Низинные болота образуются в понижениях рельефа, имеют плоскую или вогнутую поверхность, питаются атмосферными осадками, подземными и речными водами. Растительность представлена осокой, хвощами, зелеными мхами. Верховые болота находятся на плоских повышенных участках, имеют выпуклую поверхность, питаются атмосферными осадками. Растительность — в основном сфагновые мхи. Переходные болота имеют промежуточный характер, образуются часто из низинных болот при их зарастании и ухудшении питания.

Основные отложения болот — торф и сапропель. Благодаря приносу подземными водами железистых соединений в болотах иногда образуются болотные железные руды.

§ 10. Эндогенные процессы

К основным проявлениям процессов внутренней динамики Земли относятся тектонические нарушения, колебательные движения земной коры, землетрясения, магматизм и метаморфизм.

Тектонические нарушения. Морские осадки и образующиеся из них в результате диагенеза осадочные горные породы первоначально залегают в виде горизонтальных или почти горизонтальных сло-

ев. В большинстве случаев в связи с движениями земной коры горизонтальное залегание слоев осадочных пород нарушается.

Движения, связанные с перемещениями материка Земли под влиянием внутренних сил, в том числе изменение форм залегания горных пород, называются *тектоническими*. Возникающие при таких движениях изменения первоначальных форм залегания горных пород называются *тектоническими нарушениями*.

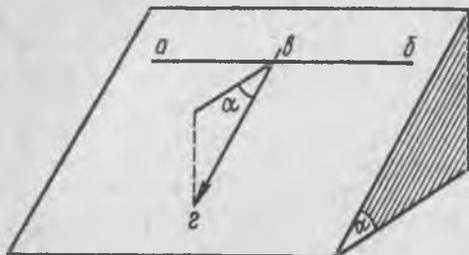


Рис. 22. Элементы залегания слоя

Тектонические нарушения подразделяются на складчатые и разрывные.

При *складчатых нарушениях* первоначально горизонтальные слои горных

пород приобретают наклонное положение или волнообразно изгибаются в складки различной формы и размеров.

Для выявления пространственного положения наклонного слоя определяют элементы его залегания: линию простирания *a—b* (рис. 22) — линию пересечения поверхности слоя горизонтальной плоскостью, и линию падения *в—г* — линию, проведенную по поверхности слоя перпендикулярно линии простирания. Положение слоя в пространстве определяется азимутом линии падения и углом падения α . Азимут линии падения — угол между северным направлением меридиана и линией падения пласта, отсчитываемый по часовой стрелке. Угол падения — это угол между поверхностью слоя и горизонтальной плоскостью (для горизонтального слоя равен 0°).

Элементы залегания слоя измеряют горным компасом. Он состоит из магнитной стрелки *3* (рис. 23) и большого круглого лимба *2*, необходимых для замера азимутов, из клинометра — отвеса *7* и полулимба *6* для замеров угла падения слоя. Горный компас смонтирован на прямоугольной пластинке *1* длиной 9—11

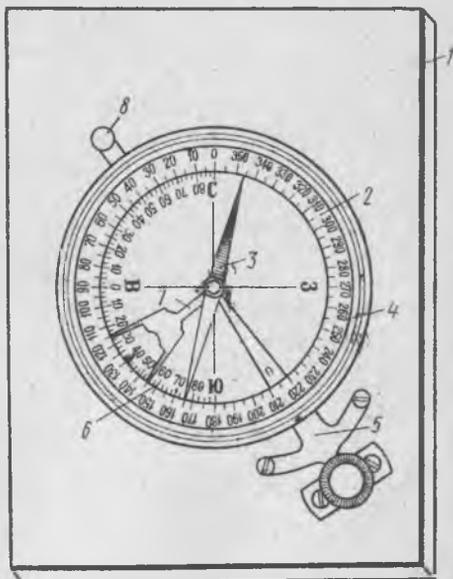


Рис. 23. Горный компас

и шириной 7—8 см. В центре лимба в пластинку ввернута игла, на которую насажена магнитная стрелка. Коробка лимба покрыта стеклом, укрепленным кольцевой пружиной 4. Под стрелкой на иглу надето кольцо, укрепленное на конце рычага 5, которым можно приподнимать магнитную стрелку и закреплять ее, прижимая к стеклу компаса. Отвес закрепляют рычажком 8.

Для упрощения замеров азимутов градуировка большого лимба сделана против часовой стрелки. Совмещая длинную сторону компаса с направлением линии, азимут которой требуется определить, отсчитывают по северному концу магнитной стрелки угол на большом лимбе. Этот угол и будет соответствовать азимуту измеряемой линии.

Для замера азимута падения слоя компас прикладывают короткой стороной к поверхности слоя (по линии простирання) так, чтобы север лимба был направлен в сторону падения слоя. Держа компас горизонтально, отпускают магнитную стрелку и по ее северному

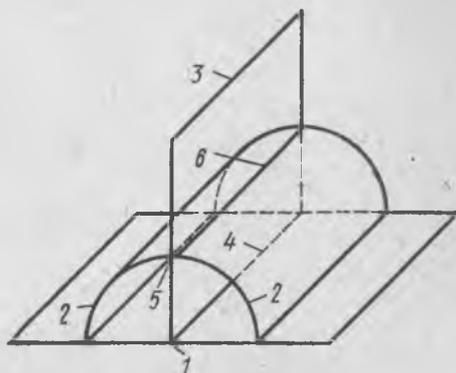


Рис. 24. Элементы складки

концу на лимбе отсчитывают значение азимута падения. Угол падения слоя замеряют на полулимбе по клинометру, для чего прикладывают компас длинной стороной к линии падения пласта (при этом клинометр на полулимбе покажет наибольший угол).

Элементами складки являются: ядро 1 (рис. 24) — центральная часть складки; крылья 2 — боковые части складки; осевая плоскость 3 — плоскость, пересекающая перегиб складки и делящая угол при ее вершине пополам; осевая линия (ось) 4 — линия пересечения осевой плоскости с горизонтальной поверхностью; шарнир 5 — след от пересечения поверхности любого слоя складки осевой плоскостью; замок 6 — зона смыкания крыльев складки, т. е. место перехода одного крыла складки в другое.

Складка называется антиклинальной (или антиклиналью), если перегиб слоев обращен выпуклостью вверх (в ядре будут находиться более древние породы, на крыльях — более молодые), и синклиналиной (синклиналию), если перегиб слоев обращен выпуклостью вниз (в ядре будут находиться более молодые породы, чем на крыльях). Замковую часть антиклинали называют седлом, синклинали — мульдой. Антиклиналь с отношением длины к ширине от 1 до 3 (округлой или неправильно-округлой формы) называют куполом. Имеются и другие разновидности складок в зависимости от их формы.

К *разрывным нарушениям* относятся сброс, надвиг и сдвиг. Элементами любого разрывного нарушения являются сместитель (трещина разрыва шириной в несколько метров, заполненная раздробленными обломками пород), опущенное крыло и поднятое крыло. Различают также лежачие и висячие крылья: лежачее крыло перекрывается сместителем, висячее расположено над сместителем.

Сброс — смещение слоев вдоль трещины (сместителя) с преобладающим движением вниз, при котором разорванные части со­скальзывают, сбрасываются (рис. 25, а). Сместитель падает в сторону опущенного крыла.

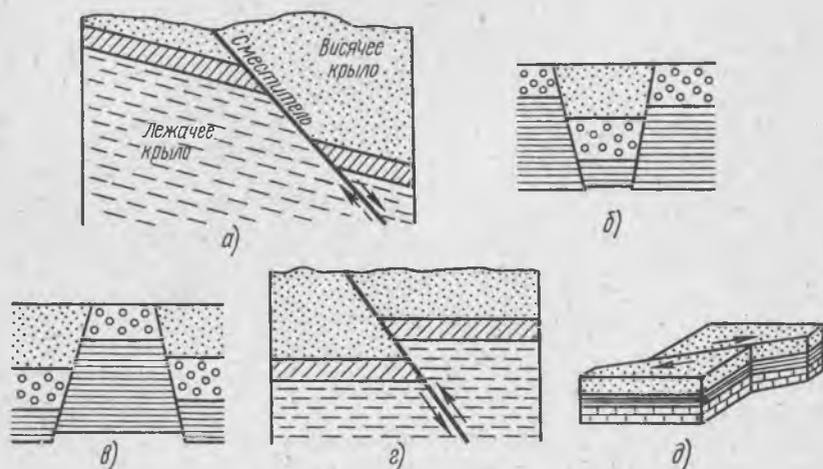


Рис. 25. Разрывные тектонические нарушения

Впадину, образованную опусканием полосы земной коры между двумя сбросами, называют *грабеном* (рис. 25, б). Примером грабена служит впадина озера Байкал.

Массив, по краям которого произошло значительное опускание соседних частей по сбросам, называется *горстом* (рис. 25, в).

Надвиг — разрывное нарушение с пологим сместителем, у которого лежачее крыло опущено, а висячее поднято (рис. 25, г).

Сдвиг — разрывное смещение с перемещением крыльев в основном в горизонтальном направлении, вдоль сместителя (рис. 25, д).

Таким образом, при разрывных нарушениях происходит относительное смещение разорванных слоев вдоль сместителя. Со временем линия разрыва заполняется обломками, замывается, зарастает растительностью и ее бывает трудно различить. В подобных случаях разрывные нарушения находят по следующим признакам: 1) по соприкосновению слоев различного возраста; 2) по различию элементов залегания крыльев по разным сторонам сместителя; 3) по

наличию в зоне сместителя зеркал трения на кусках пород — отполированных поверхностей вдоль стенок разрыва со штрихами по направлению движения, а также по наличию брекчий трения — сцементированных обломков пород; 4) по отражению разрыва в рельефе поверхности Земли в виде уступов; 5) по наличию выходов источников, особенно горячих вод, вытянутых по одной линии, которая и является линией разрыва.

Как уже отмечалось, горные породы почти всегда трещиноватые, т. е. пересечены более или менее широкими трещинами, разделяющими монолитную массу породы на множество небольших блоков. Часть трещин в породе не связана с тектоническими нарушениями и возникает под действием внутренних напряжений, связанных с формированием и дальнейшим изменением горных пород (при остывании, высыхании, выветривании и т. д.). Так, при остывании магматических пород образуется трещиноватость, при которой порода распадается на блоки определенной формы — отдельности (столбчатая отдельность для базальтов, матрацевидная — для гранитов). Другая часть трещин образуется при тектонических нарушениях горных пород, т. е. под воздействием на них внешних сил. Эти трещины называют кливажем. Кливаж выражается в раскалывании пород мелкими, часто едва заметными трещинами по некоторым определенным направлениям, обусловленным ориентированным расположением минеральных зерен или плоскостей спайности некоторых минералов. При ударе молотком по куску породы она распадается на мелкие кусочки по трещинам кливажа.

К тектоническим трещинам относятся разрывающие породы трещины, возникающие при напряжениях, превышающих пределы их прочности (трещины отрыва и скалывания).

Разрывы горных пород земной коры длиной в сотни и тысячи километров и глубиной в десятки километров называются глубинными разломами.

Колебательные движения земной коры. Изучение горных пород на больших территориях показало, что морские и континентальные отложения чередуются. Это можно объяснить тем, что данная территория периодически опускалась, покрываясь морем, и поднималась, становясь сушей. Такие медленные колебания земной коры без складкообразования и разрывов называются *эпейрогеническими* в отличие от *орогенических*, сопровождающихся складкообразованием и разрывами пород.

Явление наступления моря на сушу при ее опускании называется *трансгрессией*, явление отступления моря при поднятии суши — *регрессией*. Почти для всех участков суши можно установить несколько трансгрессий и регрессий, свидетельствующих о множественности колебательных движений в древние геологические периоды.

На протяжении геологической истории Земли наблюдалось несколько периодов с интенсивными движениями земной коры, сопровождавшимися складкообразованием, разрывами, магматизмом и более резкими колебательными движениями. Движения, происходившие в неогеновый и четвертичный периоды, называются новей-

шими, или неотектоническими, а происходящие в настоящее время — современными.

По интенсивности движений, а следовательно, по характеру и мощности накапливающихся в земной коре осадков, выделяют два типа тектонических зон: геосинклинали и платформы.

Геосинклинали — участки земной коры синклиналеобразной формы, отличающиеся интенсивной подвижностью. На первом этапе они, находясь в условиях морского водоема, интенсивно и длительно прогибаются. В этот период накапливается мощный слой морских осадков. Второй этап развития геосинклинали характеризуется интенсивным ее поднятием, складчатыми и разрывными нарушениями, магматическими процессами. На месте бывшего морского бассейна возникают горы. На третьем этапе происходят денудация и выравнивание рельефа.

Примером древней геосинклинали является Урал.

Платформы — обширные участки земной коры, отличающиеся небольшой подвижностью, равнинным рельефом и имеющие «двухэтажное» строение: нижний «этаж», называемый фундаментом, сложен сильно нарушенными и метаморфизованными породами (образован из геосинклинали после третьего этапа ее развития), а верхний «этаж», называемый осадочным чехлом, сложен почти горизонтально залегающими слоями осадочных пород (например, Русская платформа в пределах Европейской части СССР).

Участки платформы, на которых нет осадочного чехла и кристаллический фундамент выходит на поверхность, называются щитами (Балтийский и Украинский щиты на Русской платформе).

Землетрясения. Землетрясением называется колебание поверхности Земли, вызванное естественными причинами (главным образом, тектоническими процессами). Изучением землетрясений занимается наука *сейсмология*.

В некоторых местах Земли землетрясения происходят часто и иногда достигают большой силы. Например, уже в XX в. произошли крупнейшие землетрясения: в Сицилии в 1908 г., в Японии в 1911 г. на островах Рюкю и Хонсю. Ежегодно на Земле регистрируются сотни тысяч землетрясений, но большинство из них слабые и лишь немногие являются катастрофическими.

Область зарождения подземного удара, вызывающего землетрясение, называется *очагом землетрясения*. Очаги землетрясений находятся на глубине в десятки и сотни километров. В центре очага выделяют условную точку, которую называют *гипоцентром*. Проекция гипоцентра на поверхность Земли называется *эпицентром*.

Сила землетрясений оценивается в баллах по двенадцатибалльной шкале. Разрушительное действие на искусственные сооружения оказывают землетрясения силой более 5 баллов.

В настоящее время проводят районирование территорий по сейсмической активности. В СССР сейсмически активными районами являются Южный Крым, Кавказ, высокогорные части Средней Азии, Алтай, Саяны, Забайкалье, Сахалин, Камчатка. В этих районах ведется строительство сейсмостойких зданий и сооружений.

Если очаги землетрясений залегают под океанами и морями, то они вызывают *моретрясения*. При этом образуются особые волны — цунами, высокие (до 20 м и более), но очень пологие из-за большой длины волны (200—300 км). Скорость распространения цунами огромна — 400—800 км/ч.

Магматизм. Под магматизмом понимается совокупность эндогенных процессов, связанных с поднятием магмы из глубоких недр Земли, проникновением ее в кору или на поверхность и застыванием здесь в форме самых разнообразных тел. Как уже говорилось в гл. 2, магма представляет собой расплавленную огненно-жидкую массу сложного состава, образующуюся в глубоких недрах Земли. По содержанию окиси кремния выделяют магму кислую, среднюю, основную и ультраосновную.

Различают магматизм интрузивный и эффузивный (вулканизм). Интрузивный магматизм приводит к внедрению магмы в земную кору и затвердеванию ее на различных глубинах. Так образуются интрузивные тела — батолиты, штоки, лакколиты, трещинные и пластовые интрузии, о которых было сказано в § 5. Эффузивный магматизм, или вулканизм, — это совокупность процессов, связанных с перемещением магмы в земной коре и выходом ее на поверхность с образованием вулканов.

Вулканы — это геологические образования (чаще конусообразной формы), возникающие над каналами и трещинами в земной коре, по которым извергаются на поверхность Земли лавы, горячие газы и пары воды, пепел и обломки горных пород. Лава представляет собой жидкую или очень вязкую массу, отличающуюся от магмы меньшим содержанием газов. Извержение вулканов может быть спокойным или, наоборот, бурным, со взрывами.

Вулканы подразделяются на действующие и потухшие. Потухшими считаются вулканы, сведения об извержении которых отсутствуют.

В зависимости от формы подводящих каналов вулканы бывают центрального и трещинного типов. Вулкан центрального типа имеет вид конусообразной горы, через которую проходит канал, или жерло; на вершине горы жерло оканчивается чашеобразным углублением — кратером. В вулканах трещинного типа лава изливается через глубокие длинные трещины в земной коре; застывая, лава образует покровы. Древние мощные лавовые излияния в Сибири называют траппами.

В зависимости от соотношения продуктов извержения (газообразных, жидких и твердых) и вязкости лав выделяют четыре типа извержений: эффузивный (гавайский), отличающийся относительно спокойным излиянием жидкой базальтовой лавы; смешанный (стромболийский), характеризующийся излиянием достаточно подвижных лав основного состава и ритмичными небольшими взрывами; экструзивный (купольный), для которого характерно выжимание, выталкивание вязкой лавы среднего состава под сильным напором газов из канала; эксплозивный (вулканический), отличающийся бурным извержением в виде взры-

вов с выбросом большого количества твердых обломков лав — вулканических бомб, пепла; лава очень вязкая, среднего и кислого состава.

В результате эффузивного магматизма образуются вулканические горные породы, которые подразделяются на два типа: эффузивные и вулканогенно-обломочные излившиеся. Эффузивные породы подробно описаны в гл. 2. Вулканогенно-обломочные породы разделяются на рыхлые (вулканический песок, пепел, бомбы) и сцементированные (туфы, туфобрекчии). Все они образованы из обломков застывшей лавы, выбрасываемых в процессе извержения вулканов.

Метаморфизм. Под метаморфизмом понимаются разнообразные эндогенные процессы, с которыми связаны те или иные изменения в структуре, минералогическом и химическом составе горных пород в условиях, отличающихся от условий их первоначального образования. Главными факторами метаморфизма являются температура, давление и состав растворов, выделяющихся из магматических очагов.

В зависимости от действующих факторов и масштабов процесса выделяют следующие виды метаморфизма.

Региональный метаморфизм — захватывает большие территории и происходит под влиянием высокой температуры и давления на больших глубинах. Образующиеся в результате регионального метаморфизма породы характеризуются почти полной перекристаллизацией вещества и ориентированностью минеральных зерен в одном направлении, что приводит к появлению сланцеватости породы.

Динамометаморфизм — возникает под действием большого давления при движениях земной коры; в результате минеральные зерна дробятся без существенной перекристаллизации породы.

Контактовый метаморфизм — происходит под влиянием высокой температуры, паров и растворов в породах, соприкасающихся с внедрившейся в них интрузивной массой. Степень изменения пород в этом случае зависит от удаленности их от интрузивного тела.

Контрольные вопросы

1. Что такое эндогенные и экзогенные процессы?
2. Что называют денудацией и аккумуляцией?
3. Что вы знаете о физическом и химическом выветривании? Каковы основные агенты выветривания?
4. В чем заключается геологическая работа ветра?
5. Что такое плоскостной смыв, эрозия? Какие типы отложений образуют поверхностные воды?
6. Что вы знаете о карсте? Каковы основные карстовые формы рельефа?
7. В чем заключается геологическая деятельность ледников? Какие основные типы ледниковых отложений вы знаете?
8. Что такое абразия? Какие типы морских отложений вы знаете?
9. Назовите основные элементы наклонного слоя и складки. Как устроен горный компас?
10. Каковы основные виды разрывных нарушений?

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ, ПРОФИЛИ, КОЛОНКИ

Геологическое строение поверхности Земли и верхней части земной коры на ту или иную глубину отображают на геологической карте.

Геологическая карта строится на топографической основе. Контурами, индексами, цветовой окраской и штрихами на ней показывают распространение на земной поверхности и условия залегания обнаженных горных пород различного возраста и состава.

Так как практически вся поверхность суши покрыта маломощными образованиями четвертичного возраста (элювиальными, делювиальными и др.), изобразить на карте распространение более древних пород можно путем снятия четвертичных образований. Поэтому геологические карты строят обычно со снятым четвертичным покровом. Если необходимо показать распространение четвертичных отложений (в случае их большой мощности или наличия в них полезных ископаемых), строят специальные карты четвертичных отложений.

Кроме собственно геологической карты, строят и другие типы геологических карт в зависимости от того, какие особенности геологического строения хотят на них отразить — например, карты полезных ископаемых, литологические (отображающие распространение пород разного состава), тектонические карты, на которых показывают основные структурные элементы земной коры и разрывные нарушения пород, и др.

На геологической карте состав осадочных, вулканогенных и метаморфических пород обозначают штриховыми знаками, их возраст — различным цветом фона. Состав интрузивных и некоторых вулканических (эффузивных) пород показывают цветом и буквами, а возраст — геологическим индексом. Так, для обозначения некоторых магматических пород применяются следующие буквенные обозначения:

Интрузивные породы

Граниты γ (гамма малая)
Диориты δ (дельта малая)
Сиениты ξ (кси малая)
Габбро ν (ню малая)

Эффузивные породы

Липариты λ (лямбда малая)
Андезиты α (альфа малая)
Трахиты τ (тау малая)
Базальты β (бета малая)

Кроме цветовой окраски, возраст слоев указывают индексом (см. табл. 1). Для осадочных пород перед возрастным индексом буквенными обозначениями указывают их происхождение, например m — морские, c — континентальные, gl — ледниковые, al — аллювиальные, e — элювиальные, d — делювиальные, и т. д.

Границы между слоями пород различного возраста и состава на карте имеют вид извилистых линий, складчатые формы залегания горных пород показывают в виде извилистых замкнутых контуров (рис. 26), разрывные нарушения (выход сместителя на поверхность

Земли) — в виде утолщенных черных линий; границы одних и тех же слоев, примыкающих к линии тектонического нарушения с разных сторон, обычно смещены.

Масштаб геологических карт зависит от их назначения. По назначению, а следовательно, и по масштабам выделяются четыре группы карт: *обзорные* (мелкомасштабные, от 1 : 500 000 и мельче) — дают общее представление о геологическом строении большой территории, например Европейской части СССР; *среднемасштабные* (1 : 200 000, 1 : 100 000) — служат для изображения основных черт геологического строения отдельных территорий; *крупномасштабные* (1 : 50 000, 1 : 25 000) — отображают геологическое

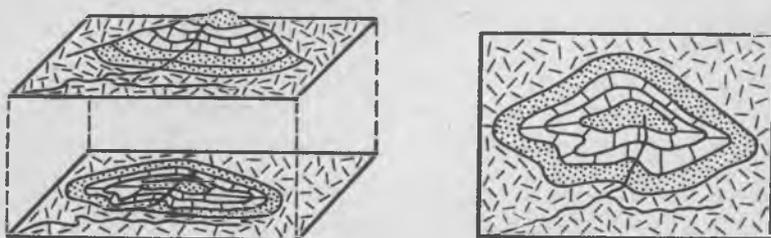


Рис. 26. Принцип изображения слоев горных пород на карте

строение отдельных площадей, перспективных в отношении месторождений полезных ископаемых; *детальные* (1 : 10 000 и крупнее) — составляются для участков отдельных месторождений полезных ископаемых.

Для средне-, крупномасштабных и детальных карт составляют геологические разрезы и стратиграфические колонки.

Геологический разрез (геологический профиль) представляет собой графическое изображение вертикального сечения земной коры на ту или иную глубину от ее поверхности. На геологических разрезах показывают условия залегания слоев горных пород различного возраста и состава, формы интрузивных или эффузивных тел, характер складчатых и разрывных нарушений. Геологические разрезы составляют по определенным линиям, которые проводят на геологической карте. Направление линий разрезов выбирается такое, чтобы получить наиболее полное представление о геологическом строении территории.

Для составления разрезов используют геологическую карту, данные буровых скважин и геофизических исследований. Горизонтальный и вертикальный масштабы геологического разреза должны быть одинаковыми и соответствовать масштабу карты; при горизонтальном залегании слоев вертикальный масштаб может быть более крупным, чем горизонтальный.

Геологические разрезы помещают на одном листе с геологической картой, внизу карты. Образец геологической карты с разрезом приведен на рис. 27.

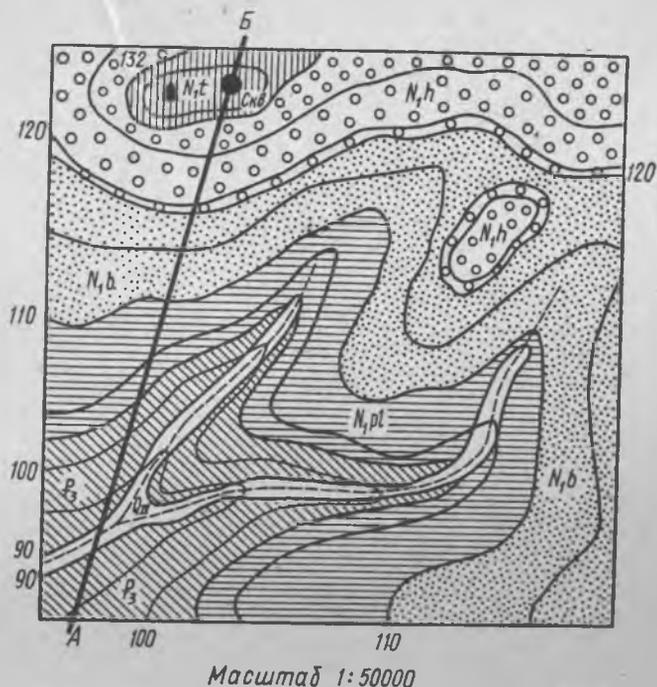


Рис. 27. Геологическая карта и геологический разрез района, сложенного горизонтально залегающими породами

Стратиграфическая колонка — это чертеж, на котором специальными условными знаками в принятом масштабе в возрастной последовательности показывают осадочные, вулканические и метаморфические породы, распространенные в пределах изображенной на карте территории. Интрузивные породы на колонке не показывают.

Стратиграфическая колонка к карте является сводной, так как ее составляют на основе сопоставления нескольких стратиграфических колонок-разрезов для разных участков территории, изображенной на карте.

Система	Отдел	Ярус	Индекс	Колонка	Мощность, м	Описание пород
Неогенная	Миоцен	Тортонский	$N_1 t$		4	Известковитые песчаники
		Гельветский	$N_1 h$		9	Галечники с примесью песка
		Бурдигальский	$N_1 b$		9	Белые кварцевые пески
		Палтавский	$N_1 pL$		8	Темные слюдистые песчаные глины
Палеогенная	Олигоцен		P		22	Серые мергели с тонкими прослойками темных глин

Рис. 28. Сводная стратиграфическая колонка к геологической карте, изображенной на рис. 27.

В сводной стратиграфической колонке (рис. 28) указывают: слева — возраст пород (систему, отдел, ярус) и индекс, справа — мощность выделяемых стратиграфических подразделений, состав пород и встречаемые в породах окаменелости. Стратиграфическую колонку, как и геологические разрезы, помещают на одном листе с геологической картой, слева от нее.

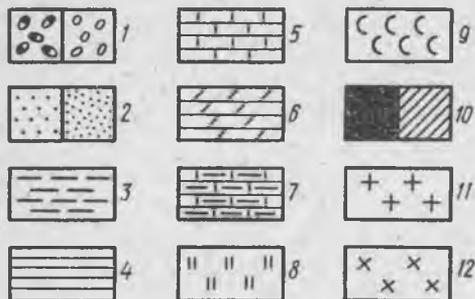


Рис. 29. Условные обозначения пород в колонке скважины:

1 — конгломераты (слева) и галечники (справа); 2 — песчаники (слева) и пески (справа); 3 — глины; 4 — аргиллиты (глинистые сланцы); 5 — известняки; 6 — доломиты; 7 — мергели; 8 — кремнистые породы (опоки, диатомиты); 9 — галогенные породы (каменная, калийная и другие соли, гипс и пр.); 10 — уголь (слева) и рудные осадочные полезные ископаемые (справа); 11 — граниты; 12 — диориты

Для отдельных участков изучаемой территории составляют стратиграфические колонки-разрезы (с описанием обнажений пород, керн буровых скважин).

Для участков, на которых распространенные в пределах изучаемой территории отложения представлены наиболее полно и характеризуются наличием ископаемых органических остатков, позволяющих расчленить породы по возрасту, составляют опорные стратиграфические колонки-разрезы.

Очень важным первичным геологическим документом, который служит исходной информацией для составления геологических разрезов и карт, является *колонка скважины*, составляемая по данным бурения. Колонку скважины строят в определенном вертикальном масштабе. В ней отмечают глубину кровли и подошвы слоев горных пород, их мощность и возраст, указывают название пород, их минеральный состав, цвет, структуру и текстуру, наличие включений и органических остатков, а также наличие полезных ископаемых и их распределение. Кроме того, в колонке показывают штриховыми знаками состав пород (принятые условные обозначения для важнейших горных пород показаны на рис. 29). В колонке отмечают также процент выхода керна и фиксируют отобранные образцы и пробы горных пород.

Геологические карты, разрезы и колонки составляют на основании геологической съемки местности. По результатам описания обнажений горных пород, разведочных выработок (буровых скважин, шурфов, канав, расчисток) при геологической съемке устанавливают и наносят на карты и разрезы данные о распространении, условиях залегания и составе пород, по окаменелостям определяют их возраст.

Контрольные вопросы

1. Что изображают на геологической карте?
2. Какие существуют типы геологических карт по назначению и масштабу?
3. Как составляют геологические разрезы?
4. Что указывают в стратиграфической колонке?

Литература к разделу I

- Горшков Г. П., Якушова А. Ф. Общая геология. М., Изд.-во МГУ, 1973.
- Гумилевский С. А. и др. Кристаллография и минералогия. М., «Высшая школа», 1972.
- Михайлов А. Е. Структурная геология и геологическое картирование. М., «Недра», 1973.
- Олейников А. Н. Геологические часы. Л., «Недра», 1971.
- Павлинов В. Н. и др. Пособие к лабораторным занятиям по курсу общей геологии. М., «Недра», 1974.
- Толстой М. П. Геология с основами минералогии. М., «Высшая школа», 1975.

РАЗДЕЛ II

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Прежде чем переходить к рассмотрению основ гидрогеологии, вспомним, что гидрогеология — это наука о происхождении, формировании, распространении и движении подземных вод, находящихся в непрерывном взаимодействии с горными породами и водами атмосферы и гидросферы. Ее основной практической задачей является изучение гидрогеологических условий для прогноза их изменения и управления ими при инженерной деятельности человека, т. е. при водоснабжении, орошении, осушении, строительстве различных инженерных сооружений, разведке и эксплуатации месторождений пресных, минеральных, промышленных и термальных подземных вод, твердых полезных ископаемых, нефти, газа и решении других народнохозяйственных задач.

Объектом изучения во всех случаях являются подземные воды, которые рассматриваются либо как своеобразный «природный минерал», как драгоценное полезное ископаемое, либо как вредный фактор, осложняющий решение практических задач (например, обводнение месторождений твердых полезных ископаемых, нефти, газа, затопление котлованов, заболачивание территорий, засоление почв и т. д.).

ГЛАВА 5

КРУГОВОРОТ ВОДЫ В ПРИРОДЕ.

ВОДА В ГОРНЫХ ПОРОДАХ И СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД ПО ОТНОШЕНИЮ К ВОДЕ

Единство природных вод Земли требует рассмотрения подземных вод в неразрывной их связи и взаимодействии со всеми видами природных вод и с горными породами, в которых они формируются, накапливаются и передвигаются. Поэтому в настоящей главе изложены сведения о круговороте воды в природе, о видах воды в горных породах и основных закономерностях их передвижения; рассмотрены виды подземных вод и основные свойства горных пород по отношению к воде.

§ 11. Круговорот воды в природе

Вода — одно из самых распространенных в природе веществ. Она встречается в парообразном, жидком и твердом состояниях во всех основных сферах Земли — в атмосфере (пары, облака, снег,

град, дождь), в гидросфере (океаны, моря, озера, реки, болота, ледники, снег), в литосфере (подземные воды, пары, лед, связанная вода), в биосфере (во всех живых организмах и растениях).

Общий объем воды в Мировом океане равен 1338 млн. км³; количество наземных вод (со льдом) 24,5 млн. км³; в атмосфере содержится около 0,014 млн. км³ воды, а в горных породах земной коры — примерно 400 млн. км³, причем на долю так называемой связанной воды, по-видимому, приходится основная их часть. Таким образом, всего на нашей планете (в океанах, на поверхности суши и в земной коре) имеется примерно 1,8 млрд. км³ воды. При этом доля пресных вод не превышает 2% (35 млн. км³).

Воды атмосферы, гидросферы и литосферы находятся в непрерывном взаимодействии и перемещении. Испаряясь с поверхности океанов, морей, озер, рек и других водоемов, а также с поверхности суши, вода в парообразном состоянии переходит в атмосферу, откуда при благоприятных условиях вновь выпадает на поверхность Земли в виде дождя, снега, града и других осадков, составляя звенья общего круговорота воды на Земле — одного из самых грандиозных процессов, определяющего формирование поверхности Земли, обмен веществ и энергии. Выпадающие на поверхность Земли атмосферные осадки частично стекают через реки в моря и океаны (поверхностный сток), частично просачиваются (инфильтруются) через почву, обеспечивая питание влагой растений и пополнение подземных вод, а частично снова испаряются в атмосферу. Подземные воды, в свою очередь, передвигаясь по пластам трещиноватых и пористых горных пород, поступают в поверхностные водотоки и водоемы (реки, озера, моря, океаны), обеспечивая их подземное питание, и таким образом снова вступают в общий круговорот воды в природе, начинающийся с испарения поверхностных вод.

В ходе круговорота постоянно возобновляются водные ресурсы в атмосфере, на поверхности Земли, в биосфере и в верхней части литосферы. Так, в атмосфере в среднем содержится около 14 000 км³ воды, преимущественно в виде пара. Однако благодаря постоянному пополнению атмосферной влаги путем испарения ежегодно на поверхность Земли выпадает 577 000 км³ осадков.

Если перемещение влаги в атмосфере и на поверхности Земли совершается довольно быстро, то с глубиной водообмен существенно замедляется, однако и глубокие подземные воды участвуют в общем круговороте воды.

Процессы перехода воды из одной сферы Земли в другую, составляющие общий круговорот воды в природе, слагаются из испарения I , осадков O , поверхностного $Q_{\text{п}}$ и подземного Q стоков. Различают большой, малый и внутриматериковый, или местный, круговороты. При *большом круговороте* часть воды, испарившейся с водной поверхности океанов и морей, ветром переносится на сушу и там выпадает в виде осадков, которые затем расходуются на поверхностный и подземный стоки, а также на испарение. При *малом круговороте* вода, испарившаяся в пределах океанов и морей, выпадает здесь же. При *внутриматериковом круговороте* испарившаяся

в пределах материков (с поверхности озер, болот, рек, с суши и при помощи растительности) вода вновь выпадает на материке. На рис. 30 показаны общая схема круговорота воды в природе и отдельные его составляющие.

Для практической деятельности человека огромное значение имеет внутриматериковый круговорот воды. В нашей стране осуществляется большой комплекс мероприятий, направленный на его улучшение и регулирование: перераспределение и регулирование поверхностного стока, строительство каналов и водохранилищ, орошение и осушение земель, искусственное пополнение и регулирование запасов подземных вод, перевод части поверхностного стока в подземный, лесонасаждения, дренаж, искусственное вызывание атмосферных осадков, борьба с непроизводительными расходами воды на испарение и др.

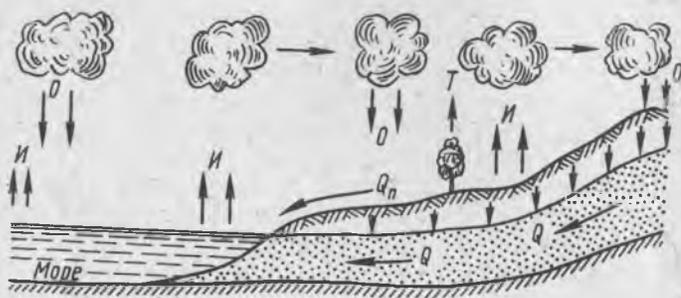


Рис. 30. Схема круговорота воды в природе:
И — испарение; О — осадки; $Q_{п}$ — поверхностный сток; Q — подземный сток; Т — транспирация

Определяющее влияние на переход воды из одного состояния в другое и ее перемещение из одной сферы Земли в другую, т. е. на развитие процессов круговорота воды в природе, оказывают климатические факторы. В формировании отдельных звеньев круговорота существенную роль играют геоморфологические, геолого-литологические, физико-географические и другие факторы, которые в значительной мере предопределяют поверхностный сток, инфильтрацию атмосферных осадков (т. е. их просачивание через почву в пористые и трещиноватые горные породы), испарение, транспирацию (испарение влаги растительностью), подземный сток и развитие других важных процессов. Поэтому при изучении гидрогеологических условий какого-либо района или месторождения важно учитывать климатические, геоморфологические, геолого-литологические, физико-географические и другие его особенности и условия, которые влияют на водный баланс изучаемого района.

Под *водным балансом* понимают количественное выражение кругооборота или отдельных его звеньев. Изучение и оценка водного баланса и определяющих его факторов обеспечивают научную

основу для его регулирования в желательном для человека направлении. Водный баланс можно изучать и составлять для районов, регионов, отдельных стран и Земного шара в целом. Уравнение водного баланса в общем случае имеет вид: $O = Q_{\text{п}} + Q + И + T$, где T — транспирация.

В соответствии с Генеральной схемой комплексного использования и охраны водных ресурсов, составленной на перспективу до 1985 г., для территории СССР в целом установлен следующий водный баланс в годовом разрезе: $O = 8770$; $Q_{\text{п}} = 3428$; $Q = 912$; $И + T = 4430$ км³, т. е. $8770 = 3428 + 912 + 4430$ км³.

Следует отметить, что общий речной сток СССР составляет примерно 10% стока рек земного шара, и наша страна по водообеспеченности стоит на первом месте среди крупнейших стран мира. Однако поверхностный сток на территории СССР распределен весьма неравномерно: около 86% его формируется в северных и восточных районах страны и стекает в бассейны Северного Ледовитого и Тихого океанов и лишь 14% приходится на наиболее населенные и развитые в промышленном отношении западные и южные районы страны (бассейны морей Атлантического океана и Арало-Каспийской впадины). Поэтому в нашей стране ведутся большие работы по перераспределению и регулированию поверхностного стока, осуществлению громадного гидротехнического строительства (гидроэлектростанции, водохранилища, искусственные моря, каналы) и переброске части стока рек Севера на Юг.

§ 12. Виды воды в горных породах.

Понятие о подземных водах и закономерностях их движения

Виды воды в горных породах. Основные виды воды в горных породах следующие: парообразная, гигроскопическая, пленочная, гравитационная, капиллярная, химически связанная и вода в твердом состоянии (рис. 31).

Парообразная вода (водяной пар) заполняет вместе с воздухом все не занятые водой поры и трещины в горных породах. Пары воды, заключенные в воздухе, находятся в состоянии, близком к насыщению, за исключением верхних слоев, подверженных периодическому иссушению. Количество паров в горных породах обычно не превышает нескольких тысячных долей процента от массы пород. В определенных условиях пары воды могут конденсироваться и переходить в жидкое состояние.

Гигроскопическая вода образуется на поверхности частиц горных пород путем конденсации и адсорбции парообразной почвенной воды. Эта вода прочно удерживается на поверхности частиц молекулярными и электрическими силами и может быть удалена только при температуре 105—110°C. Передвижение гигроскопической воды возможно лишь при ее предварительном переходе в парообразное состояние. В зависимости от количества удерживаемой на частице

горных пород гигроскопической воды различают гигроскопичность неполную (см. рис. 31, а) и максимальную (см. рис. 31, б).

Наличие гигроскопической воды в породе незаметно для глаз. Вместе с тем максимальная гигроскопичность тонкозернистых и глинистых пород может достигать 18%, в более крупнозернистых породах она падает до 1% от массы сухого вещества.

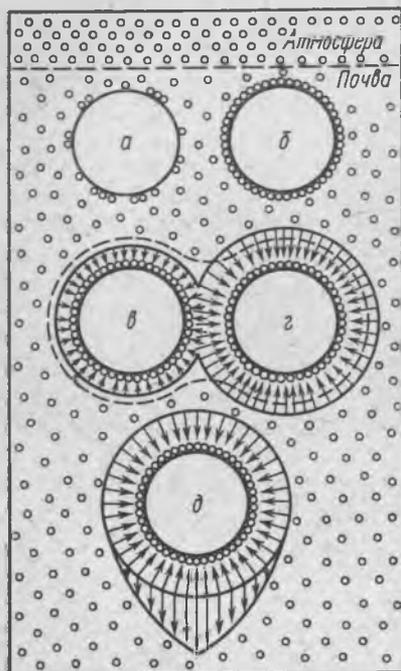


Рис. 31. Схема видов воды в горных породах (по А. Ф. Лебедеву):

1 — частицы породы; 2 — молекулы воды в виде пара; а — частицы с неполной гигроскопичностью; б — частицы с максимальной гигроскопичностью; в и г — частицы с пленочной водой; вода движется от частицы г к частице а, окруженной более тонкой пленкой; д — частицы с гравитационной водой

способностью к растворению солей и малой подвижностью.

Максимальное содержание пленочной воды (максимальная молекулярная влагоемкость $W_{\text{макс}}$) составляет для песков 1—7%, для супесей 9—13%, для суглинков 15—23% и для глин 25—45%.

При увеличении толщины пленки до размеров, не обеспечивающих удержание ее внешних слоев, пленочная вода может переходить в свободную, которая под действием силы тяжести будет сте-

Пленочная вода образуется на частицах горных пород при влажности, превышающей максимальную гигроскопичность. Поверхность частицы как бы обволакивается пленкой воды толщиной в несколько молекулярных слоев, покрывающей гигроскопическую влагу (см. рис. 31, в, г). Пленочная вода удерживается на частицах пород силами молекулярного сцепления, причем наиболее прочно связывается самый тонкий слой воды, непосредственно прилегающий к частице. По мере увеличения толщины пленки действие удерживающих сил заметно уменьшается, на поверхности пленки оно незначительно. Влажность пород, отвечающая максимальной толщине пленки, соответствует максимальной молекулярной влагоемкости. Наличие пленочной воды в породах заметно для глаз, так как породы приобретают при этом более темную окраску.

Пленочная вода способна передвигаться как жидкость от более толстых пленок к более тонким (см. рис. 31). Она не подчиняется действию силы тяжести и не передает гидростатического давления, обладает пониженной

кать с частиц породы, являясь источником пополнения гравитационных подземных вод (рис. 31, д).

Гравитационная вода — вода свободная, не подверженная действию сил притяжения к поверхности частиц горных пород. Она подчиняется действию силы тяжести и способна передавать гидростатическое давление. Свободная гравитационная вода передвигается через пористое пространство и трещины в горных породах — как в ненасыщенных водой (в зоне аэрации), так и в зоне насыщения. В зоне аэрации гравитационная вода образуется путем проникновения атмосферных осадков и поверхностных вод, а также путем перехода в капельно-жидкое состояние других видов воды (парообразной, пленочной, капиллярной, твердой). В зоне насыщения гравитационная вода образует водоносные горизонты, характеризующиеся определенными гидродинамическими особенностями, что более детально рассмотрено ниже.

Капиллярная вода заполняет капиллярные поры, стыки и тонкие трещины в горных породах и удерживается силами поверхностного натяжения. В зависимости от расположения и связи капиллярной воды с гравитационной водой зоны насыщения выделяют следующие три их вида: подвешенные, стыковые и капиллярной каймы.

Подвешенные капиллярные воды — это воды, удерживаемые в капиллярных породах и трещинах силами поверхностного натяжения и не имеющие связи с уровнем грунтовых вод зоны насыщения.

Стыковые капиллярные воды образуются в углах пор и в стыках минеральных частиц под влиянием капиллярных (менисковых) сил.

Воды капиллярной каймы образуются при наличии грунтовых вод в зоне насыщения путем капиллярного поднятия в зону аэрации. При этом верхняя поверхность капиллярных вод (бахрома) подвержена колебаниям в соответствии с изменением уровня грунтовых вод.

Химически связанная вода принимает участие в строении кристаллической решетки минералов. Она бывает цеолитной, кристаллизационной и конституционной. Цеолитная вода входит в виде молекул в состав минералов и может быть удалена при незначительном нагревании без их разрушения. Примером минерала с цеолитной водой является опал $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Кристаллизационная и конституционная вода входит в состав кристаллической решетки минералов (например, гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, диаспора AlOOH и др.) в строго определенном количестве и может быть выделена из них при высоких температурах (более 300°C) с частичным или полным разрушением минерального вещества.

Вода в твердом состоянии — в виде кристаллов, прослоек и линз льда — широко распространена в зоне многолетней мерзлоты.

Наличие в горных породах тех или иных видов воды во многом предопределяет как основные водные свойства горных пород (влажность, влагоемкость, водопроницаемость и водоотдачу), так и условия движения подземных вод. В соответствии с этим ниже рассмот-

рены условия и особенности движения воды в ненасыщенных водой горных породах (зона аэрации) и в насыщенных водой горных породах (зона насыщения, или фильтрации).

Движение воды в горных породах, понятие о подземных водах. Изучение видов и закономерностей перемещения влаги в зоне аэрации имеет большое значение для решения многих гидрогеологических задач (оценки условий атмосферного питания подземных вод, возможности их искусственного пополнения и охраны от загрязнения, прогноза режима грунтовых вод и процессов засоления почв при орошении и др.).

В зоне аэрации могут иметься все перечисленные выше виды воды. Однако при изучении процессов влагопереноса существенное значение имеют лишь процессы движения парообразной, пленочной, капиллярной и гравитационной воды.

Движение парообразной воды осуществляется от участков с большей влажностью к участкам с меньшей влажностью, а при влажности пород, превышающей их максимальную гигроскопичность, — от более нагретых пород к менее нагретым: летом — сверху вниз, зимой — снизу вверх. При изменении влажности атмосферы и пород зоны аэрации наблюдается взаимный переход паров воды из одной сферы в другую, а при понижении температуры — конденсация паров воды и переход их в капельно-жидкое состояние.

Движение пленочной воды происходит под действием молекулярных сил от частиц с большей толщиной пленки к частицам с меньшей ее толщиной (см. рис. 31, в, г).

Движение капиллярной воды вызывается действием капиллярных (менисковых) сил как при просачивании поверхностных вод и осадков через породы зоны аэрации, так и при подъеме подземных вод над их уровнем по тонким порам и трещинкам (капиллярам). Способность капиллярных вод к передвижению характеризуется высотой их капиллярного поднятия H_k , которая тем больше, чем меньше размеры капилляров. Если в песчаных породах H_k не превышает нескольких десятков сантиметров, то в суглинистых и глинистых породах она составляет, как правило, 1,5—3 м и более. Поднимающаяся от уровня подземных вод капиллярная вода может агрессивно воздействовать на фундаменты зданий, бетон и металлы инженерных сооружений. Она может также испаряться через зону аэрации, вызывая вторичное засоление почв и подземных вод. Поэтому изучение и учет движения капиллярной воды имеют большое значение при гидрогеологических исследованиях.

Движение гравитационной воды в зоне аэрации наблюдается при просачивании атмосферных осадков, а также оросительных и поверхностных вод через породы зоны аэрации. Этот процесс носит название инфильтрации. В зависимости от степени влажности пород зоны аэрации различают два вида инфильтрации: свободное просачивание и нормальную инфильтрацию. При свободном просачивании гравитационная вода проникает через породы зоны аэрации в виде отдельных струек и капель, движущихся под действием силы тяжести и капиллярных сил, и расходуется на увлаж-

нение и смачивание пород зоны аэрации. При нормальной инфильтрации вода движется через зону аэрации сплошным потоком сквозь уже увлажненные породы под действием гидростатического давления и капиллярных сил. Например, при интенсивных ливнях или при затоплении свободное просачивание довольно быстро сменяется нормальной инфильтрацией.

Проникающая через породы зоны аэрации гравитационная вода расходуется на их смачивание и увлажнение, а также на пополнение запасов подземных вод, насыщающих лежащие ниже пористые и трещиноватые горные породы. Полностью насыщенные вододой горные породы составляют *зону насыщения, или фильтрации*.

В зоне фильтрации имеются все рассмотренные ранее виды воды, начиная от химически связанной, участвующей в строении минерального вещества горных пород, и кончая свободной гравитационной, заполняющей все поры и трещины горных пород. Пленочная и капиллярная вода обволакивает частицы горной породы, заполняет капиллярные поры и образует мениски на стыках минеральных частиц. Через остальное пористое пространство и трещины движется свободная гравитационная вода, подчиняющаяся действию силы тяжести и текущая благодаря разности гидростатических напоров. Такое движение гравитационной воды в пористой среде — основная форма движения подземных вод, называемая *фильтрацией*; она является основным объектом изучения в гидрогеологии.

В суглинистых и глинистых породах, размеры пор которых очень незначительны, фильтрация подземных вод затруднена либо невозможна, так как такие поры обычно заполнены пленочной и капиллярной водой, препятствующей движению свободной воды. Для преодоления этого препятствия и возникновения фильтрации необходимы большие гидростатические напоры. Таким образом, и количество свободной воды в горных породах (водообильность), и возможность ее движения зависят от размера и объема трещин и пор горных пород, т. е. от их трещиноватости и пористости. Размеры трещин и пор определяют водопроницаемость горных пород, т. е. их способность фильтровать свободную воду. Различают водопроницаемые и водонепроницаемые (водоупорные) горные породы. К водопроницаемым относятся зернистые и обломочные горные породы (гравий, галечник, конгломерат, щебень, песок и др.), а также трещиноватые скальные породы. Водоупорные породы — это глины, илы, соль, мергели, монолитные скальные породы. Иногда выделяют полупроницаемые породы (глинистые пески, суглинки, супеси, лёссы, торф и др.).

Наличие в разрезе отложений водопроницаемых и водоупорных пород создает условия для накопления в отдельных пластах гравитационной воды и образования горизонтов подземных вод — водоносных горизонтов. Под водоносным горизонтом понимают насыщенные гравитационной водой водопроницаемые отложения, характеризующиеся сходными условиями их залегания и распространения. Водоносные горизонты обычно называют по возрасту водовмещающих пород, например водоносный горизонт древ-

неаллювиальных отложений, сеноманский водоносный горизонт и т. д.

Водоносные горизонты могут быть приурочены к мало изменяющимся по мощности и литологии пластам (толщам) обломочных, зернистых, трещиноватых или других водопроницаемых пород. Снизу они подстилаются водонепроницаемыми или относительно водонепроницаемыми породами, которые образуют водоупор (водоупорную подошву). Сверху водоносные отложения могут иметь или не иметь перекрывающий их водоупор (водоупорную кровлю), что предопределяет условия залегания водоносного горизонта, а также его питания и взаимосвязи с атмосферой. Мощность насыщенных водой водопроницаемых пород представляет собой мощность водоносного горизонта, а мощность подстилаемых водонепроницаемых пород — мощность водоупора.

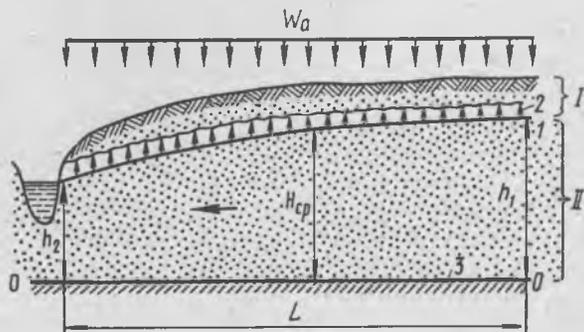


Рис. 32. Схема водоносного горизонта (грунтовые воды):

I — зона аэрации; *II* — зона фильтрации; 1 — свободная поверхность грунтовых вод; 2 — зона капиллярной каймы; 3 — водоупорная подошва (водоупор); W_a — питание грунтовых вод за счет инфильтрации атмосферных осадков; h_1 , h_2 — мощности водоносного горизонта; H_{cp} — средняя мощность водоносного горизонта; $O-O$ — плоскость сравнения

На рис. 32 схематично изображены зоны аэрации и фильтрации. Зона фильтрации представлена водоносным горизонтом песчаных отложений, подстилаемых глинистым водоупором. Отсутствие водоупорной кровли обеспечивает питание водоносного горизонта за счет инфильтрации атмосферных осадков через зону аэрации. Поднимающиеся от водоносного горизонта выше его уровня капиллярные воды образуют зону капиллярной каймы. Такие условия свойственны обычно горизонтам грунтовых вод, не имеющим перекрывающего водоупора и характеризующимся непосредственной связью с атмосферой. Грунтовые воды имеют свободный уровень, на поверхности которого давление равно атмосферному.

При наличии перекрывающего водоупора водопроницаемые породы пласта могут оказаться полностью насыщенными водой, которая будет обладать избыточным гидростатическим напором (давление воды внутри пласта больше атмосферного). При вскрытии та-

кого водоносного горизонта вода под действием напора поднимается выше водоупорной кровли пласта; уровень, на котором она устанавливается, называется пьезометрическим. Такие воды, обладающие избыточным над кровлей горизонта напором, называют напорными (рис. 33). Мощность напорных вод определяется мощностью заключенных между двумя водоупорами водоносных отложений, в то время как в грунтовых водах она представляет собою мощность водонасыщенных отложений, измеряемую от свободного уровня грунтовых вод до водоупора.

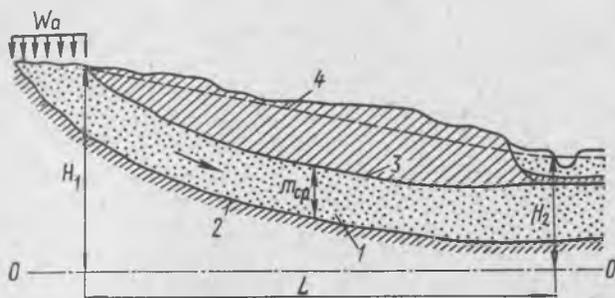


Рис. 33. Схема водоносного горизонта (напорные воды): 1 — водоносный пласт; 2 — водоупорная подошва; 3 — водоупорная кровля; 4 — пьезометрический уровень напорных вод; W_a — инфильтрация в области питания напорных вод; $m_{ср}$ — средняя мощность напорного горизонта; H_1 , H_2 — напоры горизонта относительно плоскости сравнения $O-O$

Закономерности движения подземных вод. Подземные воды зоны насыщения движутся под действием разности гидростатических напоров от областей с более высоким положением их свободного или пьезометрического уровня к областям с низким положением уровня (см. рис. 32 и 33). Движение подземных вод в природных условиях в большинстве случаев бывает ламинарным, параллельно-струйчатым и происходит медленно, без завихрений и сплошным потоком. Лишь в редких случаях, при движении воды в крупных трещинах и пустотах, возможны перемешивание струй потока, их пульсация, завихрения, значительная скорость, что характерно для турбулентного движения подземных вод.

Ламинарное движение подземных вод подчиняется линейному закону фильтрации, установленному французским гидравликом А. Дарси. Пропуская воду через различные песчаные фильтры, Дарси установил, что количество воды Q , фильтрующейся через фильтр в единицу времени, прямо пропорционально площади сечения фильтра F , разности напоров ΔH , под действием которой происходит фильтрация, и обратно пропорционально длине пути фильтрации (длине фильтра) ΔL . Схема опыта Дарси приведена на рис. 34. Математически закон Дарси выражается следующим образом:

$$Q = k \frac{H_1 - H_2}{\Delta L} F = k \frac{\Delta H}{\Delta L} F = kIF,$$

где k — постоянный коэффициент пропорциональности, зависящий от физических свойств породы и фильтрующейся воды и получивший название коэффициента фильтрации; I — напорный градиент, или гидравлический уклон; H_1 и H_2 — напоры в начальном и конечном сечениях фильтра.

Закон Дарси является основным законом фильтрации и широко используется в гидрогеологии для количественной оценки условий движения подземных вод (определения напоров, скоростей фильтрации, расходов потока подземных вод и т. п.).

Напорный градиент I характеризует уклон свободной поверхности грунтовых вод или пьезометрической поверхности напорных вод. Для его определения необходимо определить разность напоров в

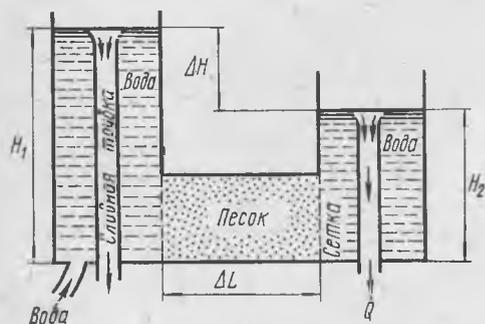


Рис. 34. Схема опыта Дарси

каких-либо двух сечениях и разделить ее на расстояние между этими сечениями (длину пути фильтрации). При этом под напором понимается положение свободной или пьезометрической уровня подземных вод относительно плоскости сравнения (обычно за плоскость сравнения принимают горизонтально залегающий водоупор). Например, для условий грунтового потока с горизонтальным водоупорным ложем, показанного на

рис. 32, средний напорный градиент на участке потока длиной L равен $I_{\text{ср}} = (h_1 - h_2) / L$. В рассматриваемом случае значения напоров в начальном и конечном сечениях потока h_1 и h_2 совпадают со значениями мощности водоносного горизонта в этих же сечениях, так как за плоскость сравнения принимается плоскость горизонтально залегающего водоупора. Для условий напорного потока с наклонным водоупором, показанного на рис. 32, напоры H_1 и H_2 определяются положением пьезометрического уровня в рассматриваемых сечениях относительно горизонтальной плоскости сравнения $O-O$, а напорный градиент на участке длиной L соответственно равен $I_{\text{ср}} = (H_1 - H_2) / L$. Напорные градиенты горизонтов подземных вод в естественных условиях изменяются в зависимости от состава водоносных пород, их мощности, условий питания и других факторов и равны обычно 0,01—0,0001 (градиент — величина безразмерная).

Формула закона Дарси после некоторых преобразований (почленного деления на F) может быть записана в другом виде:

$$v = \frac{Q}{F} = k \frac{H_1 - H_2}{\Delta L} = k \frac{\Delta H}{\Delta L} = kI,$$

где v — скорость фильтрации подземных вод.

Из этого выражения следует, что скорость фильтрации находится в линейной зависимости от напорного градиента. Поэтому закон Дарси называется линейным законом фильтрации. Скорость фильтрации v является величиной условной, вытекающей из предпосылки, что расход потока подземных вод Q проходит через полное поперечное сечение потока F . На самом же деле вода движется только через часть площади сечения водоносных горных пород, занимаемую порами и трещинами (эта площадь равна nF , где n — коэффициент пористости или трещиноватости). Таким образом, действительная скорость движения вод через поры и трещины горных пород v_d всегда значительно (в 5—10 раз) больше скорости фильтрации v и может быть определена из выражения $v_d = v/n$.

Действительную скорость движения подземных вод необходимо определять при решении многих практических задач (продвижение нефтеводяных контуров, границ минерализованных и соленых вод, загрязнений и т. д.).

Турбулентное движение подземных вод встречается в природных условиях очень редко (в крупных трещинах и карстовых пустотах). Оно подчиняется нелинейному закону фильтрации, установленному А. А. Краснопольским. При турбулентном движении скорость фильтрации пропорциональна гидравлическому уклону в степени $1/2$, т. е. $v = k\sqrt{I}$.

При решении практических задач гидрогеологии нелинейный закон фильтрации используется очень редко.

§ 13. Свойства горных пород по отношению к воде

При решении многих практических задач гидрогеологии, инженерной геологии и горно-бурового дела возникает необходимость в изучении и определении свойств горных пород по отношению к воде. При этом рассматриваются главным образом водные и некоторые физико-механические свойства пород. Основными из них являются гранулометрический состав, пористость, влажность, влагоемкость, водоотдача, водопроницаемость.

Гранулометрический состав показывает процентное содержание (по массе) частиц различного размера, слагающих данную рыхлую породу. Для определения гранулометрического состава производят механический (гранулометрический) анализ: обломочную породу расчленяют на группы частиц более или менее одинакового размера (фракции) и определяют процентное (по массе) содержание отдельных фракций. Обычно определяют содержание крупнообломочных частиц размером более 2 мм (в зависимости от их размера выделяют валуны, гальку, гравий), песчаных (0,05—2 мм), пылеватых (0,005—0,05 мм) и глинистых (менее 0,005 мм) частиц. В зависимости от процентного соотношения различных фракций устанавливают классификационное название породы (глина, суглинок, супесь, песок, щебень, дресва и т. д.).

Гранулометрический состав породы определяет многие ее свойства: пористость, водопроницаемость, сжимаемость, высоту капиллярного поднятия, пластичность, усадку, набухание и др. Его необходимо знать для выбора фильтрационных обсыпок к фильтрам скважин, сеток фильтров, шага проволоочной обмотки и т. д.

Пористость количественно характеризует объем пустот (пор, трещин, полостей и т. п.) в объеме горной породы. Она выражается двумя показателями: коэффициентом пористости n и коэффициентом приведенной пористости ε . Коэффициент пористости n представляет собой отношение объема пустот $V_{\text{п}}$ к объему всей породы V , а коэффициент приведенной пористости ε — отношение объема пустот $V_{\text{п}}$ к объему скелета породы $V_{\text{с}}$, т. е. $n = V_{\text{п}}/V$ и $\varepsilon = V_{\text{п}}/V_{\text{с}}$.

Как видно из этих формул, коэффициенты пористости и приведенной пористости — величины безразмерные (измеряются в долях единицы или в %). Коэффициент пористости всегда меньше единицы, а коэффициент приведенной пористости может ее превышать. В частности, у некоторых глинистых пород, обладающих высокой пористостью, коэффициент приведенной пористости может быть намного больше единицы.

Показатели пористости, определяемые лабораторным или расчетным путем, являются важными характеристиками горных пород, так как от пористости зависят водопроницаемость, водоотдача, сжимаемость, плотность, влагоемкость и другие свойства пород. Многие из этих свойств зависят также от размеров пор, трещин и пустот. Например, фильтрация подземных вод возможна лишь при наличии сверхкапиллярных пор и трещин (размером более 0,5 мм). Капиллярные (0,5—0,002 мм) и субкапиллярные (менее 0,002 мм) поры заполнены капиллярной и физически связанной водой (плёночной и гигроскопической), что делает их практически водонепроницаемыми. В частности, глинистые породы, пористость которых может достигать 60%, водонепроницаемы. Поэтому в гидрогеологии выделяют еще эффективную (активную) пористость, характеризующую объем пор, по которым возможна фильтрация подземных вод. Естественно, что активная пористость всегда меньше общей пористости, характеризуемой коэффициентом пористости n .

Влажность пород в естественных условиях $W_{\text{е}}$ характеризуется количеством воды, содержащейся в их порах и трещинах в данный момент. Влажность пород изменяется во времени и в пространстве. Она определяется отношением количества воды (массы или объема) к массе или объему содержащей ее породы (измеряется в %). Влажность является важной характеристикой пород, определяющей их прочность и поведение под действием инженерных сооружений. Используется она и при водно-балансовых расчетах. Влажность пород определяют в лаборатории (метод высушивания) и в полевых условиях (нейтронный каротаж, тензиометрические и другие методы).

Влагоемкость — способность горных пород вмещать и удерживать в своих пустотах определенное количество воды при возможности ее свободного стекания. Она определяется лабораторным пу-

тем, выражается в процентах (по массе или объемных), используется при гидрогеологических расчетах для определения других параметров (пористости, водоотдачи и т. п.). Различают следующие виды влагоемкости: полную — максимальное количество воды, удерживаемой породой при полном насыщении всех пустот водой; капиллярную — максимальное количество воды, удерживаемое в капиллярных порах; пленочную, или максимальную молекулярную, — максимальное количество физически связанной воды, удерживаемой частицами породы; гигроскопическую — соответствует количеству прочно связанной (адсорбированной) воды. По степени влагоемкости горные породы подразделяются на следующие виды: очень влагоемкие (торф, ил, глина, суглинки), слабо влагоемкие (мел, мергель, лёссовые породы, супеси, мелкозернистые пески) и невлагоемкие (скальные породы, галечники, гравий, крупнозернистые пески).

Водоотдача — это способность водонасыщенных горных пород отдавать гравитационную воду при возможности ее свободного стекания. Численно водоотдача характеризуется коэффициентом водоотдачи μ , представляющим собою отношение объема свободно отдаваемой воды к объему всей породы (величина безразмерная). Водоотдача зависит от размеров и структуры пор и трещин. Наилучшей водоотдачей обладают породы с крупными порами и пустотами (гравий, галечник, крупнозернистые пески), у которых коэффициент водоотдачи близок по величине к коэффициенту пористости или полной влагоемкости и изменяется в пределах от 0,15 до 0,4. Более мелкозернистые песчаные и суглинистые породы обладают незначительной водоотдачей (0,15—0,005), которая определяется по разности между полной и максимальной молекулярной влагоемкостью.

Водоотдача является важным гидрогеологическим параметром, широко используемым при решении задач водоснабжения, осушения, прогноза подпора и др. Определяется она лабораторными и полевыми методами, а также по данным наблюдений за режимом подземных вод.

Близким к водоотдаче параметром является коэффициент недостатка насыщения μ_n , характеризующий способность горных пород принимать гравитационную воду при их насыщении. Численно коэффициенты водоотдачи и недостатка насыщения близки между собой, однако недостаток насыщения может быть больше водоотдачи. Обычно его определяют по разности между полной влагоемкостью и естественной влажностью. Оба показателя широко используют при гидрогеологических расчетах.

Водопроницаемость — это способность горных пород пропускать через себя (фильтровать) воду. Водопроницаемость зависит от гранулометрического состава пород, размеров пустот и трещин, свойств фильтрующейся жидкости и других факторов. Количественно она характеризуется коэффициентом фильтрации k , являющимся одним из основных гидрогеологических параметров, широко используемым при различного рода расчетах и прогнозах.

Коэффициент фильтрации, как это следует из формулы закона Дарси на стр. 88, представляет собой скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице. Размерность его м/сут, м/ч, см/с. Определяется коэффициент фильтрации лабораторными методами, полевыми опытно-фильтрационными работами, при помощи геофизических исследований и по эмпирическим формулам с использованием данных о гранулометрическом составе, пористости и других свойствах горных пород.

Выше уже отмечалось, что чем больше зернистость и крупнее обломки слагающих породу частиц, тем больше ее водопроницаемость. Для ориентировочного определения коэффициента фильтрации зернистых пород нередко используют эмпирические формулы, учитывающие зависимость водопроницаемости от гранулометрического состава, пористости и других показателей. Наиболее простой и распространенной является формула Хазена, в соответствии с которой $k = cd_e^2$, где c — эмпирический коэффициент, зависящий от степени однородности и пористости пород и изменяющийся от 400 до 1200, а d_e — действующий диаметр частиц в мм, соответствующий диаметру, меньше которого в породе содержится 10% (по массе) частиц (определяется по кривой гранулометрического состава). Величину эмпирического коэффициента c , входящего в формулу Хазена, можно определять в зависимости от коэффициента пористости n по вспомогательной формуле: $c = 400 + 40(n - 26)$, где n принимается в %.

Средние значения коэффициента фильтрации (в м/сут) для рыхлых горных пород составляют: глины — менее 0,001; суглинки — 0,01—0,1; супеси — 0,1—0,5; лёссы — 0,25—0,5; песок глинистый — 0,5—1,0; песок мелкозернистый — 1—5; песок среднезернистый — 5—20; песок крупнозернистый — 20—50; гравий — 20—150; галечники — 100—1000; скальные трещиноватые породы — до 50; сильно трещиноватые и закарстованные породы — 50—150 и более.

Контрольные вопросы

1. Что такое гидрогеология и каковы ее основные задачи?
2. Что вы знаете о круговороте воды в природе, каковы его виды и практическое значение?
3. Какие виды воды в горных породах вы знаете? Дайте их краткую характеристику.
4. Какие виды движения воды возможны в зоне аэрации?
5. Что такое фильтрация и инфильтрация?
6. Что такое водоносный горизонт? Дайте определение его основных элементов (водоупоры, мощность, уровень, напоры и др.).
7. Каковы линейный закон фильтрации и условия его применения?
8. Что такое действительная скорость движения подземных вод и скорость фильтрации, каково их соотношение?
9. Какие вы знаете водные свойства горных пород? Охарактеризуйте их.
10. Что такое водопроницаемость? От каких факторов она зависит и какими показателями определяется?

ПРОИСХОЖДЕНИЕ, ПИТАНИЕ И РАЗГРУЗКА
ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Выяснение источников и условий питания подземных вод, закона их движения, разгрузки (выхода на поверхность Земли), взаимодействия с породами, накопления и изменения содержащихся в водах различных солей, газов, органических веществ и др. — все это необходимо при решении одной из важнейших проблем гидрогеологии — проблемы *формирования подземных вод*.

Эта проблема включает, с одной стороны, происхождение молекул подземных вод H_2O и их количество в литосфере, с другой — формирование состава растворенных в подземных водах веществ. Происхождение воды и ее состав (ионы, соли, газы) тесно взаимосвязаны. Ниже мы остановимся в основном на происхождении воды, так как вопросы формирования ее состава являются очень сложными, во многом еще нерешенными и дискуссионными.

§ 14. Происхождение подземных вод

Подземные воды представляют собой составную часть всех природных вод на нашей планете. Поэтому их первоисточниками, как и других вод на Земле, являются: а) дегазация мантии, б) синтез воды в верхних слоях атмосферы и в) поступление из космоса вместе с метеоритами. Таким образом, подземные воды образовались путем как возникновения молекул воды внутри твердой части Земли, так и поступления воды в горные породы из внешних геосфер — гидросферы и атмосферы. В настоящее время еще нет единой классификации, отражающей все стороны формирования подземных вод. Трудность создания такой классификации объясняется множеством факторов и условий формирования подземных вод, постоянным и разнообразным их движением (фильтрация, диффузия, миграция в связи с переходом воды из одного фазового состояния в другое и т. д.), приводящим к их видоизменению и непрерывному обновлению.

Большинством ученых подземные воды по их происхождению подразделяются на инфильтрационные (образуются за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод), седиментационные, конденсационные и ювенильные (воды магматического и метаморфического происхождения). Наибольшее значение в формировании запасов (массы) подземных вод имеют инфильтрационные и седиментационные воды, широко распространены воды смешанного происхождения.

Инфильтрационные воды — это практически все грунтовые воды и большая часть артезианских вод верхних промытых водоносных горизонтов. Именно эти воды имеют наибольшее практическое значение как источники хозяйственно-питьевого водоснабжения. Инфильтрационные воды обводняют большинство месторождений полезных ископаемых, залегающих неглубоко от земной поверхности.

Седиментационные воды в основном залегают в нижних, наименее промытых частях литосферы. Их образование связано с формированием пород, начиная с первых стадий седиментогенеза, когда часть воды водоема (моря, озера и др.) задерживается в осадке и составляет до 90% его объема. При уплотнении осадка под влиянием тяжести вышележащих слоев происходит отжатие иловых (поровых) вод. Сначала отжимается гравитационная вода, затем рыхло связанная, а при достаточно больших давлениях (на большой глубине) — и прочно связанная вода. Отжавшаяся таким образом вода частично попадает обратно в водоем, а частично — в более проницаемые (водоносные) слои.

Конденсационные воды играют сравнительно небольшую роль в формировании подземных вод. Они образуются путем конденсации атмосферной влаги при понижении температуры воздуха, находящегося в порах и капиллярах пород, до точки росы. Наибольшее значение конденсация имеет в районах с резкими перепадами температур. Например, в пустынях именно в зоне переменной годовой температуры происходят процессы испарения и конденсации атмосферной влаги.

Глубинные, восходящие из мантии воды — *ювенильные* — практически не принимают участия в образовании подземных вод.

§ 15. Питание и разгрузка подземных вод

Между грунтовыми и залегающими неглубоко подземными водами и глубокими напорными существуют резкие различия, связанные с условиями их питания, движения и разгрузки. Поэтому рассмотрим их отдельно.

Виды питания грунтовых вод следующие: инфильтрация атмосферных осадков, инфильтрация поверхностных вод и поступление напорных вод из более глубоких горизонтов. Питание грунтовых вод происходит, как правило, на всей площади их распространения и зависит от количества выпадающих осадков, рельефа местности, обнаженности пород, их литологического состава и других физико-географических и геологических факторов.

Движение грунтовых вод направлено к областям их дренирования.

Разгрузка грунтовых вод происходит всегда в пониженных местах, например в долинах рек, балках, оврагах, т. е. там, где водоносный горизонт прорезан эрозией сетью (см. рис. 35).

Условия питания, движения и разгрузки глубоких напорных вод во многом отличаются от описанных выше, хотя они имеют и некоторое сходство (для периферийных частей артезианских бассейнов). Сходство заключается в том, что в областях питания артезианских бассейнов, приуроченных к положительным геологическим структурам (поднятиям), воды имеют свободную поверхность и принципиально не отличаются от грунтовых вод. Основные же отличия заключаются в том, что питание глубоких вод может происходить не только на поверхности Земли за счет инфильтрационных вод, но и в погруженных частях артезианских бассейнов за

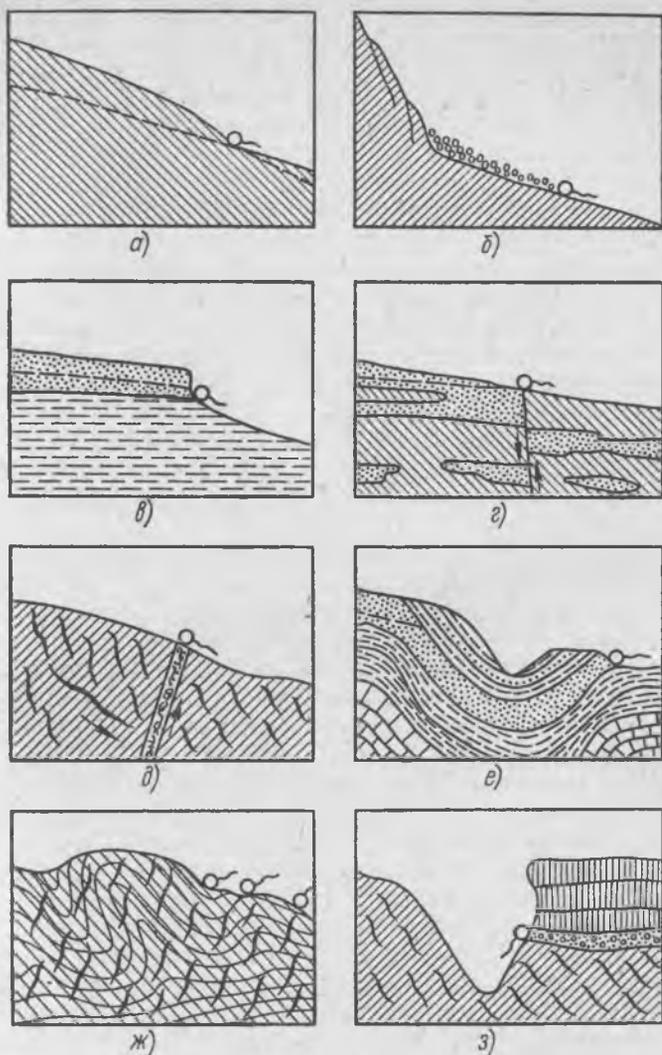


Рис. 35. Выходы родников на поверхность:

a — в понижениях, при пересечении поверхности земли свободной поверхностью подземных вод; *б* — в результате инфильтрации атмосферных осадков в грубообломочные делювиальные отложения; *в* — водопроницаемые песчаники подстилаются непроницаемыми глинистыми сланцами; *г* — разрыв, приведший водопроницаемые слои в контакт с непроницаемыми аллювиальными отложениями; *д* — открытая зона трещиноватости в твердых породах, вызванная разрывным смещением пород; *е* — выход на поверхность артезианского водоносного горизонта; *ж* — преобладающая трещиноватость пород в одном направлении; *з* — обнажение водопроницаемых гранитов и базальтов, подстилаемых непроницаемыми гранитами

счет отжатия поровых седиментационных вод из глинистых пород. В этом случае движение подземных вод будет направлено от мест наибольшего прогибания, а следовательно, и выжимания, к местам относительно меньшего прогибания, т. е. к периферийным частям бассейна. Важнейшим различием условий питания, движения и разгрузки артезианских вод является их напорный характер. Напор глубоких подземных вод обусловлен гидростатическим и геостатическим давлением, что создает в водоносных пластах условия упругого режима.

Разгрузка глубоких напорных вод осуществляется различными путями: в виде восходящих источников, путем медленного вытеснения подземных вод через вышележащие слабо водопроницаемые породы, на дне морей и океанов, в долинах крупных рек.

Условия выхода подземных вод на земную поверхность дают большую информацию о том, как разгружаются воды в недрах Земли. Поэтому в гидрогеологии этому вопросу уделяется очень большое внимание.

Обследование водных источников является одним из важнейших элементов гидрогеологических исследований. Некоторые типичные условия выхода родников на поверхность показаны на рис. 35.

В настоящее время все большие масштабы принимает искусственная разгрузка подземных вод, т. е. извлечение их из земных недр при помощи скважин, шахт, штолен и другими способами. На участках интенсивного отбора подземных вод системой взаимодействующих групповых водозаборов происходит коренное преобразование режима подземных вод, в том числе и глубоких водоносных горизонтов. Откачка нефти и вод нефтяных месторождений, эксплуатация промышленных, термальных и минеральных вод — все это приводит к снижению напоров в глубоких водоносных горизонтах, к изменению условий движения и естественной разгрузки подземных вод. Строительство глубоких (сотни метров) и больших по площади карьеров, подземных горных выработок также серьезно нарушает естественные условия питания, движения и разгрузки подземных вод. С другой стороны, при добыче нефти для поддержания пластового давления в глубокие горизонты закачивают огромные объемы воды. Общая протяженность берегов водохранилищ, созданных человеком главным образом за последнее время, приближается к протяженности экватора. Все это заставляет вспомнить слова академика В. И. Вернадского: «Человек становится крупнейшей геологической силой».

Контрольные вопросы

1. Какие генетические типы подземных вод вам известны?
2. Каковы условия формирования инфильтрационных и седиментационных вод?
3. Чем отличаются условия питания и разгрузки грунтовых и глубоких напорных вод?
4. Как влияет инженерная деятельность человека на изменение условий питания и разгрузки подземных вод?

**ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СОСТАВ
ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

Общие сведения. Любая подземная вода, даже пресная, широко используемая для питьевого водоснабжения, представляет собой сложный многокомпонентный раствор. В подземных водах содержатся разнообразные минеральные и органические вещества, газы и микроорганизмы. Знание физических свойств и состава подземных вод совершенно необходимо для решения многих теоретических и практических вопросов геологии и гидрогеологии. Изучением состава подземных вод, процессов, приводящих к его формированию, закономерностей распределения различных компонентов в подземных водах занимается *гидрогеохимия*.

Знания в области гидрогеохимии используются в геологии, например, для решения таких вопросов, как рудообразование, происхождение солей, нефти и газа, формирование, сохранение и разрушение месторождений различных полезных ископаемых. Многие практические вопросы использования подземных вод вообще нельзя решать без знания их химического состава. Так, при оценке качества подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения, нужно знать не только общую минерализацию вод, т. е. суммарное количество растворенных в них компонентов, но и содержание отдельных химических элементов. Например, установлено, что недостаток в воде фтора (менее 0,75 мг/л) вызывает кариес зубов, а избыток его (более 1,5 мг/л) — флюороз. Воды, бедные иодом, вызывают базедову болезнь (увеличение щитовидной железы). Содержание болезнетворных бактерий, некоторых классов органических веществ (фенолы, бензол и др.), тяжелых металлов влияет на санитарно-гигиеническую оценку подземных вод. Применение минеральных лечебных вод основано главным образом на содержании в них различных физиологически активных компонентов химического и газового состава.

Многие подземные воды содержат некоторые ценные компоненты в таких количествах, что их извлекают из вод в промышленных масштабах. Такие воды называются промышленными. Так, весь добываемый для использования в народном хозяйстве иод извлекают из подземных (иодных) вод, большую часть брома — также из подземных (бромных) вод. На повестке дня стоит комплексное извлечение из промышленных подземных вод большого количества химических элементов: стронция, бора, лития, германия, рубидия, цезия и др.

Очень важно знать химический состав вод, используемых при орошении земель, так как их общая минерализация, содержание в них ряда компонентов влияют на развитие сельскохозяйственных культур, на засоление почвы.

Применяемый в настоящее время в геолого-поисковой практике гидрогеохимический метод поисков рудных и нефтегазовых месторождений основан на изучении закономерностей распределения в

подземных водах их минеральных и органических компонентов, определении их газового и бактериального состава. Изучение химического состава вод и прогноз его изменений необходимы при разработке месторождений полезных ископаемых, а также при различного рода строительстве, чтобы своевременно предусмотреть меры против коррозии бетона и металла водой.

По мере накопления наших знаний о составе и свойствах подземных вод будет расширяться и область теоретического и практического их применения.

§ 16. Физические свойства и характеристики подземных вод

К важнейшим физическим свойствам подземных вод, обычно изучаемым при гидрогеологических исследованиях, относятся запах, вкус, цветность, мутность, температура, плотность.

Запах. Большинство подземных вод не имеет запаха. Однако при активной деятельности некоторых видов бактерий вода может иметь сероводородный, болотный, гнилостный, плесневый, лекарственный и т. п. запах. Интенсивность запаха оценивается по пятибалльной системе.

Для определения запаха воды в полевых условиях наполняют исследуемой водой примерно $\frac{3}{4}$ пробирки, нагревают ее до 60°C и закрывают корковой пробкой. После взбалтывания открывают пробку и определяют запах.

Вкус. Обычно различают соленый, горький, сладкий и кислый вкус, который придают воде растворенные в ней вещества. При содержании в воде хлористого натрия (более 600 мг/л) она имеет соленый вкус, сульфата магния — горький, солей железа — терпкий, и т. д. Вода может иметь также различный привкус — хлорный, металлический и др. Приятный освежающий привкус придает воде свободная углекислота. Интенсивность вкуса определяют по пятибалльной системе.

Цветность. Некоторые растворенные минеральные и органические вещества могут придавать воде различный цвет: бурый, желтый, зеленоватый и др. Например, гумусовые кислоты окрашивают воду в бурый и даже черный цвет. Количественное определение цветности воды производят, сравнивая ее со стандартным платинокобальтовым раствором, и выражают в градусах цветности. В полевых условиях часто цветность определяют лишь качественно. Если вода непрозрачная, то ее сначала фильтруют, отделяя взвешенные вещества, затем наполняют водой пробирку, ставят на белую бумагу и, глядя сверху, определяют цветность.

Мутность. При наличии в воде взвешенных веществ она может быть сильномутной, мутной, слегка мутной и опалесцирующей. При отсутствии же этих веществ вода прозрачная. Количество взвешенных веществ определяют взвешиванием осадка после его фильтрации и высушивания. Второй способ определения мутности (прозрачности) воды заключается в чтении специального шрифта через слой

воды, налитой в мерный цилиндр. По высоте столба воды, через который ясно различается шрифт, определяют степень прозрачности воды.

Охарактеризованные выше физические свойства подземных вод определяют возможность использования их для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

В ГОСТе 2874—73 «Вода питьевая» по органолептическим показателям вода должна соответствовать следующим требованиям: запах при 20°C и при подогревании до 60°C — не более 2 баллов, привкус при 20°C — не более 2 баллов, цветность по платино-кобальтовой или имитирующей шкале — не более 20°C по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы цветность воды может быть 35°), мутность по стандартной шкале — не более 1,5 мг/л.

Температура. Подземные воды характеризуются самой различной температурой — от -5° (в районах многолетней мерзлоты) до $+300^{\circ}\text{C}$ и выше (в вулканических областях). Температура грунтовых вод средних широт колеблется от 5 до 15°C и изменяется в зависимости от времени года. Пояс постоянных годовых температур находится на глубине 20—30 м. Ниже этого пояса температура увеличивается в соответствии с геотермическими особенностями района (геотермическая ступень изменяется от нескольких метров на 1°C до 100—200 м/град). Температура подземных вод влияет на их химический состав. Так, с повышением температуры увеличивается растворимость многих солей и уменьшается растворимость газов, увеличивается скорость химических реакций и т. д.

При гидрогеологических исследованиях температуру воды измеряют непосредственно в скважине, источнике, колодце различными термометрами (ленивыми, шарик которых обернут теплоизолирующим материалом, электротермометрами, термоэлементами и др.).

В зависимости от температуры подземные воды бывают холодные — с температурой менее 20°C , теплые — от 20 до 37°C , горячие — от 37 до 42°C , термы — с температурой более 42°C .

Плотность. С увеличением минерализации воды ее плотность также увеличивается, поэтому плотность примерно характеризует сумму солей, что видно из следующей зависимости:

Плотность, г/см ³	1,001	1,010	1,020	1,051	1,107	1,200	1,262
Минерализация, г/кг	2	15	27	70	140	240	300

Ориентировочное определение плотности производят ареометром, точное — пикнометром.

Важное значение для оценки качества воды имеют такие характеристики ее химического состава, как жесткость и агрессивность.

Жесткость. Жесткостью воды называется содержание в ней растворимых солей кальция и магния, выраженное в мг-экв/л. 1 мг-экв/л жесткости соответствует содержанию (по массе) 20,04 мг/л Ca^{2+} или 12,16 мг/л Mg^{2+} . Различают жесткость общую, обусловленную наличием в воде всех солей кальция и магния, уст-

ранимую (или временную), неустранимую (или постоянную), карбонатную и некарбонатную. Устраняемая жесткость есть величина экспериментальная, показывающая, на сколько уменьшается общая жесткость после кипячения воды, во время которого слаборастворимые карбонаты выпадают в осадок. Неустраняемая жесткость обусловлена некарбонатными солями кальция и магния и равна разности между общей и устранимой жесткостью. По степени жесткости выделяют очень мягкие воды (до 1,5 мг-экв/л), мягкие (1,5—3), умеренно жесткие (3—6), жесткие (6—9) и очень жесткие (выше 9 мг-экв/л). Для питьевых целей наиболее подходят умеренно жесткие воды. Жесткие воды непригодны для многих отраслей промышленности, для паровых котлов и пр., так как образуют твердый осадок (накипь).

Агрессивность. Некоторые компоненты подземных вод разрушающе действуют на различные материалы, в том числе бетон и металлы. Наиболее опасна для бетона углекислая и сульфатная агрессия. Так, при углекислой агрессии под воздействием агрессивной углекислоты карбонат кальция выщелачивается из бетона и переходит в воду. При сульфатной агрессии образуются новые соединения (гипс, бетонная бацилла), имеющие больший объем, чем исходные, что приводит к разрушению бетона. Для металла очень опасна кислородная агрессия, вызывающая коррозию обсадных труб, фильтров и др. Существуют и другие виды агрессии, например общеизвестная, магниезная.

§ 17. Состав подземных вод

В подземных водах содержатся макроэлементы (макрокомпоненты), определяющие химический тип воды, микроэлементы (микрокомпоненты), газы, органические соединения и микрофлора. Они находятся в воде в виде ионов (катионов и анионов), простых и комплексных молекул, коллоидов. Сумма всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ (в мг/л и г/кг) называется *минерализацией воды*.

Макроэлементы. Важнейшими ионами (по ГОСТу «главными»), определяющими минерализацию воды, являются K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} . В пресных водах обычно преобладают ионы Ca^{2+} и HCO_3^- , а в соленых — Na^+ и Cl^- . Поэтому пресные воды в основном имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав, а соленые — хлоридно-натриевый. Различное сочетание указанных ионов дает очень большое разнообразие химических типов подземных вод.

Больше всего в подземных водах хлор-иона, его содержится до 100 г/л и более. Содержание сульфат-иона обычно ограничивается величиной растворимости $CaSO_4$, что соответствует содержанию SO_4^{2-} в солоноватых водах около 1,5 г/л, а в рассолах — до 4,5 г/л. Количество HCO_3^- в подземных водах редко превышает 1,5 г/л и зависит от количества углекислоты. Ион натрия содержится в очень больших количествах и всегда преобладает над калием. Ко-

личество Ca^{2+} редко превышает 1 г/л, за исключением высокоминерализованных вод и рассолов, где Ca^{2+} иногда даже может преобладать над натрием. Содержание Mg^{2+} достигает нескольких десятков г/л.

Микроэлементы. В настоящее время в подземных водах обнаружено более 60 элементов таблицы Менделеева. Большинство из них содержится в незначительных количествах, определяемых микрограммами и менее в 1 л воды. Наиболее изучены иод, бром, фтор, бор, кремний, железо, алюминий, медь, цинк, свинец. Многие из микроэлементов хотя и не определяют химического типа воды, но являются специфическими для определенных геолого-гидрогеологических условий. Например, для вод нефтегазовых месторождений характерны иод, бром, бор, стронций, содержание которых может достигать сотен и более мг/л. Для вод рудных месторождений характерны медь, молибден, мышьяк, никель, железо, олово, ртуть, свинец, серебро и др.; содержание их обычно составляет единицы и десятки мкг/л, но может достигать и сотен мг/л.

Газы. Практически все подземные воды содержат то или иное количество растворенных газов. По закону Генри их количество по массе прямо пропорционально давлению газа (или парциальному давлению в смеси газов). Основными газами являются O_2 , N_2 , CO_2 , H_2S , H_2 ; CH_4 . В большинстве случаев по массе преобладают один или два, редко три газа.

Большое геохимическое значение имеет кислород, содержание которого уменьшается с глубиной. Кислород расходуется на окисление минеральных и газовых компонентов воды, а также на образование сложных кислородсодержащих ионов SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} и др. Углекислый газ очень химически активен, с водой и ее компонентами вступает в многочисленные реакции, участвует в равновесии $\text{CO}_2 - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^-$; характерен для углекислых минеральных вод, где его количество достигает нескольких г/л. Азот содержится во всех водах и составляет до 95—99% общей газонасыщенности вод. Сероводород характерен для глубоких вод, иногда его содержание достигает нескольких сот мг/л (Магеста); является важным агентом химических реакций, участвует в равновесии $\text{H}_2\text{S} - \text{SO}_4^{2-} - \text{SH}^-$. Угледородные газы (метан, этан, пропан, бутан и др.) всегда насыщают воды нефтегазовых месторождений. Метан часто преобладает над другими газами, образуя метановые воды с газонасыщенностью до 10 000 мл/л. Водород менее изучен; он иногда составляет 25—30% общего количества растворенных газов.

Помимо основных вышеназванных газов в подземных водах могут присутствовать инертные газы (неон, аргон), гелий, эманации радия и тория, а также CO , HCl , HF , SO_2 , Cl , S , NH_3 . Большой интерес представляют так называемые фумарольные термы областей современного вулканизма, содержащие газы сложного состава (HCl , HF , CO , CO_2 , H_2S , SO_2 и др.).

Органические соединения. В подземных водах содержатся различные органические соединения. Наиболее часто встречаются органические кислоты (жирные, фульвокислоты, гуминовые и наф-

теновые), фенолы, углеводороды, аминокислоты и др. Количественная оценка содержания органического вещества дается по величине органического углерода ($C_{орг}$). Наиболее обогащены органическим веществом воды нефтяных месторождений, содержащие $C_{орг}$ до нескольких сот мг/л. Из-за сложности анализа $C_{орг}$ в подземных водах часто количественную оценку содержания органического вещества производят по перманганатной или бихроматной окисляемости и выражают величиной кислорода (в мг O на 1 л), затраченного на окисление органических веществ.

Микрофлора. Бактерии в подземных водах обнаружены до глубины нескольких километров. В зоне активного водообмена наиболее распространены гнилостные и болезнетворные бактерии и сапрофиты, разлагающие вещества белкового характера и загрязняющие воду. В глубоких водах развиваются такие группы бактерий, как сульфатредуцирующие, метанообразующие, денитрифицирующие и др. В результате жизнедеятельности бактерий образуются многие газы: H_2S , CO_2 , CH_4 , N_2 , H_2 и др. Многие бактерии способны окислению минеральных и органических веществ, газов. Это тионовые и серобактерии, бактерии, окисляющие водород, метан, гептан и др. Большая часть бактерий относится к термофилам, активно развивающимся при температуре более $37^\circ C$. Предел температуры, при которой еще может протекать, хотя и в ослабленном виде, жизнедеятельность организмов, — $75-80^\circ C$. Существует ряд бактерий, способных развиваться при минерализации воды до 300 г/л. Число бактерий колеблется от 10 до 500 тыс. клеток в 1 мл воды. В особо благоприятных условиях их количество может достигать 2 млн. клеток в 1 мл воды.

§ 18. Показатели, характеризующие состояние воды

Концентрация водородных ионов (рН). Все подземные воды содержат водородные (H^+) и гидроксильные (OH^-) ионы, так как вода, хотя и в слабой степени, диссоциирует по уравнению: $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$. При температуре $22^\circ C$ из 55,51 г/моль воды, содержащихся в 1 л ($1000:18,016=55,51$), только 10^{-7} г/моль находится в виде ионов.

Практически удобнее концентрацию ионов водорода и гидроксила выражать не в виде натуральных чисел, а в виде логарифмов этих чисел, взятых с обратным знаком. Логарифмы для $[H^+]$ обозначают рН. Таким образом, если $[H^+]=10^{-7}$, то $pH = -\lg 10^{-7} = 7$. При равенстве концентраций ионов H^+ и OH^- вода нейтральна ($pH=7$). При концентрации ионов H^+ больше 10^{-7} , например 10^{-4} , вода будет иметь кислотные свойства, а рН равняться 4. И наоборот, при концентрации ионов H^+ меньше 10^{-7} вода будет иметь щелочную реакцию и рН будет больше 7. Таким образом, при нейтральной реакции $pH=7$, при кислой $pH < 7$ и при щелочной $pH > 7$.

Определение рН в подземных водах производят колориметрическим и электрометрическим методами. Электрометрический метод

более точен и позволяет выполнить определение с точностью 0,02 рН. Подземные воды обычно имеют рН от 6 до 8. Воды сульфидных и каменноугольных месторождений почти всегда кислые (рН до 4 и менее). Знать величину рН вод необходимо для решения многих вопросов, например для оценки агрессивности подземных вод, их коррозионной способности и др.

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh). Одним из важных факторов, определяющих физико-химические условия среды, является ее окислительно-восстановительный потенциал, обусловленный содержанием в подземных водах соединений с переменной валентностью. Количественно он измеряется в вольтах или милливольтках, обозначается Eh.

Системы с более высоким потенциалом являются окислителями по отношению к системам с более низким потенциалом, которые служат восстановителями. Если в подземной воде преобладают окисленные формы, Eh будет положительным, а если восстановленные — отрицательным. Наиболее универсальным окислителем в грунтовых и неглубоко залегающих пластовых водах является кислород. Значения Eh при содержании кислорода больше 7 мг/л находятся в пределах от +350 до +700 мВ. Наличие в воде более 10 мг/л сероводорода всегда указывает на восстановительную среду (Eh ниже —100 мВ).

Обычно Eh определяют на месте отбора проб при помощи потенциометра путем электродметрического измерения разности потенциалов электрохимической ячейки.

Сведения о физико-химическом состоянии среды необходимы для изучения миграционных особенностей элементов с переменной валентностью и других вопросов.

§ 19. Химический анализ подземных вод и формы выражения его результатов

Основные задачи химического анализа подземных вод в практике гидрогеологических исследований следующие:

изучение закономерностей формирования и распространения подземных вод различного состава;

оценка состава и свойств подземных вод для питьевого, технического, сельскохозяйственного, лечебного и других видов использования;

исследование подземных вод как критерия при поисках месторождений полезных ископаемых — нефти, газа, солей, различных руд;

оценка подземных вод как химического сырья для получения иода, брома, бора и других элементов.

Существуют четыре типа химических анализов подземных вод: полевой, сокращенный, полный и специальный.

Полевой анализ. Это наиболее простой анализ, применяющийся для предварительной характеристики подземных вод района. Его производят в полевых условиях в походной гидрохимической лабо-

ратории, часто упрощенными методами. При полевом анализе определяют: физические свойства воды, pH, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , общую жесткость, Ca^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , NH_4^+ , NO_2^- , CO_2 (своб.); вычисляют: $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, карбонатную жесткость, Mg^{2+} и общую минерализацию.

Сокращенный анализ. Этот анализ производят более точными методами в стационарных лабораториях. При сокращенном анализе определяют: физические свойства воды, pH, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , NH_4^+ , NO_2^- , CO_2 (своб.), SiO_2 , окисляемость, сухой остаток¹, вычисляют: $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (по разности), жесткость общую, карбонатную и некарбонатную, CO_2 (агрес.).

Полный анализ. Применяется для подробной характеристики химического состава подземных вод. Производится наиболее точными методами в стационарных лабораториях. Позволяет произвести контроль определений как по сухому остатку, так и по суммам мг-экв катионов и анионов. При полном анализе определяют: физические свойства воды, pH, Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , NH_4^+ , NO_2^- , CO_2 (своб.), SiO_2 , окисляемость, сухой остаток; вычисляют: жесткость общую, карбонатную и некарбонатную, CO_2 (агрес.).

Специальный анализ. Помимо определений, производимых при перечисленных выше типах анализа, этот анализ включает специальные определения (микрокомпонентов, органических веществ, газов, Eh и др.) по особому заданию в соответствии с целевым назначением исследований.

Количество отбираемой для анализа воды зависит от точности и чувствительности анализа и минерализации воды. Чем выше требования к чувствительности и точности анализа, тем больше должен быть объем пробы; пресные и слабо минерализованные воды отбирают в больших объемах, чем сильно минерализованные. При полевом анализе обычно бывает достаточно 0,5 л воды, при сокращенном — от 0,5 до 1,5 л (в зависимости от минерализации), а при полном — от 1,0 до 2,0 л. Для определения неустойчивых (изменяющихся во времени) компонентов — CO_2 , H_2S , O_2 , Fe и др. — применяют специальные методы отбора и хранения проб.

Различные типы анализа подземных вод производят при помощи специальных гидрохимических лабораторий (ПЛАВ, МЛАВ, ГХЛ-2, ПЛГ-1 и др.).

Результаты химического анализа воды выражают в массовых количествах веществ, растворенных в 1 л воды (или в 1 кг воды), в эквивалентных количествах или в процент-эквивалентных количествах (%-экв). В гидрогеологической практике принято массовые количества компонентов выражать в миллиграммах на 1 л (мг/л), а эквивалентные количества ионов — в миллиграмм-эквивалентах (мг-экв) каждого иона в 1 л воды.

¹ Сухой остаток — это общая масса веществ, полученная после выпаривания профильтрованной воды и последующего высушивания осадка; обычно выражается в мг/л и г/кг.

Результаты определения содержания микрокомпонентов в воде выражают обычно в микрограммах на 1 л воды (мкг/л). Если же микрокомпоненты содержатся в значительных количествах, то результаты определения указывают так же, как для макрокомпонентов (в мг/л, мг-экв/л, ‰-экв).

§ 20. Запись результатов химических анализов.

Классификация химического состава подземных вод

Разнообразие химического состава подземных вод вызывает необходимость в их систематизации. Существует ряд классификаций и множество способов наглядного изображения химического состава вод (графики, формулы, коэффициенты и т. п.).

Формула химического состава. Наиболее часто химический состав воды выражают в виде формулы Курлова. Она представляет собой псевдодробь, в числителе которой представлены анионы (в ‰-экв) в порядке убывания их содержания, а в знаменателе — катионы. Слева от дроби указывают название характерного газа и его содержание (в г/л), специфические (Sp) компоненты и величину минерализации (M) воды в г/л, а также ее температуру. Формула Курлова была предложена в 1928 г. и после этого претерпела некоторые изменения. Наиболее рациональным представляется вариант этой формулы, предложенный И. Ю. Соколовым (1970 г.). Он заключается в следующем.

1. В левой части формулы записывают (в мг/л) содержание газов, а затем микрокомпонентов, если их количество превышает норму для стнесения подземных вод к минеральным или представляет геохимический интерес.

2. Далее указывают величину минерализации воды *M* в виде дроби: в числителе — по массе (в г/л, с точностью до одного десятичного знака), в знаменателе — в эквивалентной форме, выраженной в мг-экв/л суммы анионов.

3. В знаменателе псевдодроби записывают в нисходящем порядке все катионы, в числителе — анионы, содержание которых составляет более 1 ‰-экв (с точностью до целых процентов).

4. После псевдодроби указывают показатели, характеризующие состояние воды (рН и Eh) и ее температуру, а также перманганатную окисляемость (в мг О/л). Для сильно минерализованных вод и рассолов в конце формулы проставляют плотность воды.

В качестве примера приведем следующую формулу:

$$\text{CO}_2 \ 1080 \ M \ 1,0/18,42 \ \frac{\text{HCO}_3 \ 89 \ \text{SO}_4 \ 8 \ \text{Cl} \ 12 \ \text{F} \ 1}{\text{Na} \ 55 \ \text{Ca} \ 30 \ \text{Mg} \ 14 \ \text{K} \ 1} \ \text{pH} \ 6,3; \ \text{Eh} \ + \ 100;$$

$$\text{O}_{\text{Mn}} \ 2; \ t^\circ \ 40.$$

Такая формула позволяет полно отразить все важнейшие химические характеристики исследуемой воды и при необходимости рас-

считать эквивалентное и массовое содержание найденных при анализе ионов.

Наименование воды по ее ионному составу, т. е. чтение этой формулы, согласно ГОСТу 13273—73 на минеральные воды таково: сначала называют подчиненные ионы, потом — преобладающие. Так, название воды, записанное в виде приведенной выше формулы, следующее: сульфатно-гидрокарбонатная кальциево-натриевая вода (в названии обычно учитывают два катиона и два аниона или ионы, превышающие 20 %-экв).

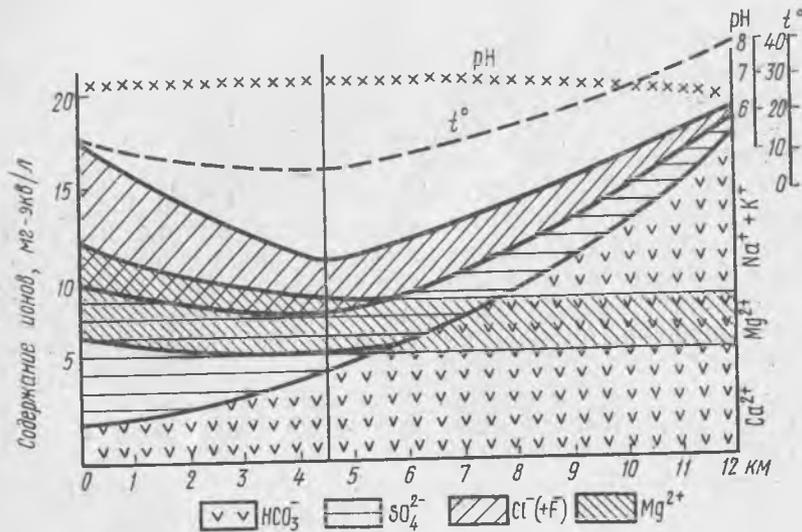


Рис. 36. Гидрохимический профиль

Классификация и систематизация химического состава. Подземные воды классифицируют по различным признакам: по величине минерализации, соотношению компонентов, специфическим особенностям вод и др. В практике гидрогеологических исследований обычно пользуются классификацией подземных вод по минерализации, в соответствии с которой выделяют воды: пресные с минерализацией до 1 г/л, слабо солоноватые — 1—3, сильно солоноватые — 3—25, соленые — 25—50, рассолы — более 50 г/кг.

Результаты гидрогеохимических исследований используют при построении гидрохимических карт и профилей (рис. 36), которые позволяют наглядно отобразить изменения химического состава вод в пространстве.

При нанесении данных химического состава вод (в %-экв) на гидрогеологические карты и разрезы часто пользуются колонкой-диаграммой и кругом-диаграммой химического состава вод (рис. 37). Площади, занимаемые каждым ионом, закрашивают в соответствующие цвета.

При наличии большого фактического материала о химическом составе вод в последнее время все шире используют статистические методы его обработки. Для изучения зависимостей содержания отдельных компонентов от различных природных факторов строят соответствующие графики (например, изменения минерализации вод с глубиной и др.).

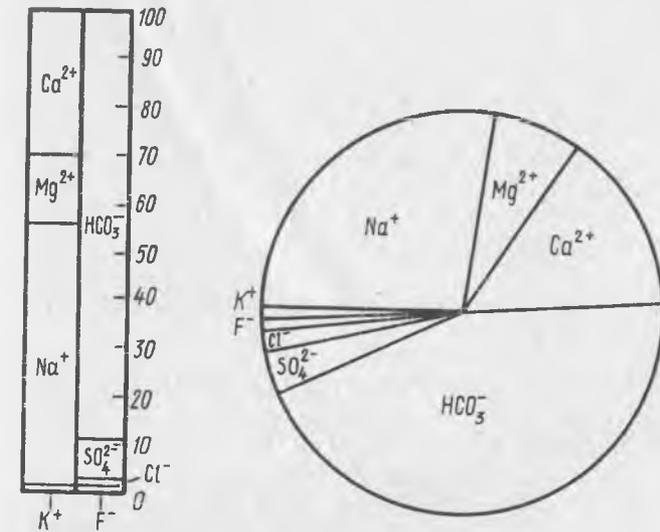


Рис. 37. Колонка и круг-диаграмма химического состава природных вод

§ 21. Требования к качеству подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения

Требования к физическим свойствам воды были изложены в § 16. Здесь мы рассмотрим другие показатели воды, предусмотренные ГОСТом 2874—73 «Вода питьевая».

Содержание химических веществ в подземных водах не должно превышать:

Сухой остаток—1000 мг/л	Cu ²⁺ —1,0 мг/л
Cl ⁻ —350 »	Zn ²⁺ —5,0 »
SO ₄ ²⁻ —500 »	Al ³⁺ —0,5 »
Fe ²⁺ +Fe ³⁺ —0,3 »	PO ₄ —3,5 »
Mn ²⁺ —0,1 »	Общая жесткость—7,0 мг-экв/л

Водородный показатель pH должен быть в пределах 6,5—8,5. Многие микрокомпоненты подземных вод в больших дозах токсичны. Их допустимые концентрации (в мг/л) следующие: берил-

лий (Be^{2+}) — 0,0002, молибден (Mo^{2+}) — 0,5, мышьяк (As^{3+} , As^{5+}) — 0,05, нитраты (по N) — 10,0, полиакриламид — 2,0, свинец (Pb^{2+}) — 0,1, селен (Se^{6+}) — 0,001, стронций (Sr^{2+}) — 2,0, фтор (F^-) — 1,5 (для I и II климатических районов), 1,2 (для III климатического района), 0,7 (для IV климатического района), серебро (Ag^+) — 0,05, уран (U) природный и уран-238 — 1,7.

Общее количество бактерий в 1 мл воды не должно превышать 100 клеток. В воде не должно быть бактерий группы кишечной палочки, брюшного тифа, холеры, дизентерии. Показателем загрязнения воды патогенными бактериями служит кишечная палочка «коли». Загрязненность воды оценивается величиной коли-титра, представляющей собой объем воды (в см^3), в котором содержится одна кишечная палочка. По нормам коли-титр должен быть не менее 300 см^3 . Другой бактериальной характеристикой воды является количество бактерий «коли» в 1 л воды (коли-индекс). ГОСТом предусмотрен коли-индекс не более 3.

§ 22. Понятие о минеральных, промышленных и термальных водах

К *минеральным водам* относятся природные воды, которые могут оказывать на организм человека лечебное действие, обусловленное повышенным содержанием в них полезных биологически активных компонентов ионно-солевого и газового состава либо общим ионно-солевым составом воды, а также содержанием органического вещества. Основными типами минеральных вод являются железистые, мышьяковистые, сероводородные (сульфидные), углекислые, радоновые, иодные, бромные.

Для отнесения воды к лечебной минеральной в ней должно быть не менее 0,5 г/л CO_2 , не менее 10 мг/л H_2S , 30—200 мг/л H_2SiO_3 , 50—140 мг/л (редко больше) HVO_2 , 0,7—1,5 мг/л As, 20—70 мг/л Fe, 5—15 мг/л I, 25—200 мг/л Br при минерализации обычно не менее 2 г/л (для минеральных питьевых вод).

Промышленные воды, как уже говорилось, содержат ценные химические компоненты, которые извлекают из них в промышленных масштабах. Из промышленных вод в СССР извлекают иод, бром. Месторождением иодо-бромных вод называется территория, в недрах которой повсеместно распространены горизонты иодо-бромных вод и рассолов промышленной концентрации (иода не менее 18, брома не менее 250 мг/л).

Подземные воды перспективны и для извлечения многих других ценных компонентов — лития, германия, вольфрама, бора, мышьяка стронция, рубидия, цезия.

Термальные воды имеют повышенную температуру и часто являются минеральными и промышленными. Их широко используют для теплофикации, лечебных целей, в сельском хозяйстве и для извлечения химических элементов. На Камчатке успешно работает первая в Советском Союзе геотермальная станция, использующая термальные воды для выработки электроэнергии. Общие запасы

термальных вод в нашей стране составляют много сот миллионов кубометров, и тепло этих вод, температура которых достигает 300°C, может заменить десятки миллионов тонн топлива.

Контрольные вопросы

1. Зачем нужно изучать химический состав подземных вод?
2. Какие свойства подземных вод необходимо учитывать при их санитарно-гигиенической оценке?
3. Назовите основной ионный состав подземных вод и типы химического анализа.
4. Что содержится в подземных водах, кроме основных ионов?
5. Что такое формула Курлова? Напишите ее в общем виде.
6. Назовите химические элементы питьевой воды, нормируемые ГОСТом.
7. Какие типы минеральных и промышленных вод вы знаете?

ГЛАВА 8

ВЕРХОВОДКА, ГРУНТОВЫЕ И НАПОРНЫЕ ВОДЫ. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ В ТРЕЩИНАВАТЫХ И ЗАКАРСТОВАННЫХ ПОРОДАХ

Гравитационные подземные воды сосредоточены главным образом в зоне насыщения, где они образуют различные по условиям залегания и питания водоносные горизонты и системы водоносных горизонтов (комплексы, этажи, бассейны). В зоне аэрации свободные гравитационные воды могут образовать временно существующие водоносные горизонты, называемые *верховодкой* и имеющие локальное (местное) распространение. Возникают верховодки вследствие просачивания с поверхности атмосферных осадков, поверхностных и оросительных вод и накопления их на линзах и прослойках слабопроницаемых пород, играющих роль местных водопоров. Верховодки обычно залегают неглубоко и расположены в

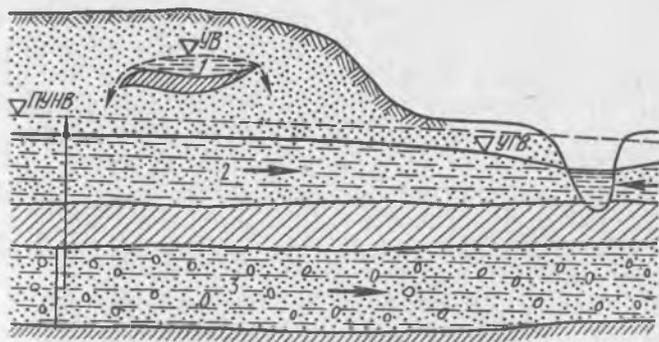


Рис. 38. Схема соотношения верховодки, грунтовых и напорных вод:

1 — верховодка; 2 — грунтовые воды; 3 — напорные воды;
УВ — уровень верховодки; УГВ — уровень грунтовых вод;
ПУНВ — пьезометрический уровень напорных вод; стрелками
показано направление движения подземных вод

разрезах выше постоянных горизонтов грунтовых вод. Их воды расходуются в основном на испарение, транспирацию и питание грунтовых вод.

В зоне насыщения, как уже отмечалось ранее (см. § 2), распространены грунтовые и напорные подземные воды. Взаимоотношения и связь верховодки, грунтовых и напорных вод могут быть самыми разнообразными, что зависит от геологоструктурных, геоморфологических, тектонических, литологических, климатических и других факторов и условий. Общая схема их взаимного расположения в разрезе показана на рис. 38. Детально верховодка, грунтовые и напорные воды рассмотрены ниже.

§ 23. Верховодка и грунтовые воды

Верховодка. Она является своеобразным типом подземных вод, хотя и имеет много общих черт с грунтовыми водами. Верховодка образуется в зоне аэрации путем накопления просачивающихся через нее поверхностных вод и осадков. Водоупором для верховодки служат выклинивающиеся водонепроницаемые и слабопроницаемые пласты горных пород, линзы моренных глин и суглинков, менее трещиноватые зоны пород в коре выветривания и т. п. Благоприятные условия для образования верховодки имеются на плоских водоразделах и степных пространствах с местными блюдцеобразными понижениями в пределах речных террас и пологих склонов, где инфильтрация поверхностных вод и осадков преобладает над поверхностным стоком. В таких условиях мощность верховодки может достигать 5 м (обычно она не более 2 м), и ее можно использовать для сезонного хозяйственно-питьевого и сельскохозяйственного водоснабжения.

Как и грунтовые воды, верховодка имеет свободную поверхность с наличием над ней капиллярной каймы (см. рис. 38).

Особенностями верховодки как своеобразного типа подземных вод являются: 1) расположение ее в пределах пород зоны аэрации, 2) временный характер, сезонность (обычно в периоды интенсивного выпадения атмосферных осадков и утечек воды из различных систем), 3) ограниченность распространения (локальный характер предопределяется локальным распространением водоупоров), 4) резкая зависимость ее запасов, режима и качества от климатических условий и хозяйственной деятельности человека, 5) легкая загрязняемость и непригодность для постоянного водоснабжения, 6) своеобразие динамики (расходуется на испарение, транспирацию и питание грунтовых вод).

По химическому составу воды верховодки неодинаковы: пресные и слабоминерализованные с повышенным содержанием кремниевой кислоты, органического вещества и железа в северных районах и обычно минерализованные в южных районах (из-за испарения).

При бурении скважин для целей водоснабжения верховодку необходимо тщательно изолировать при помощи обсадных труб во избежание загрязнения ею лежащих ниже водоносных горизонтов.

Грунтовые воды. К грунтовым водам относятся подземные воды первого от поверхности постоянно действующего водоносного горизонта, залегающего на относительно выдержанном водоупоре и имеющего свободную поверхность (см. рис. 32, 38; рис. 39). Сверху грунтовые воды обычно не перекрыты водоупорными отложениями, поэтому они имеют тесную связь с атмосферой и давление на их поверхности равно атмосферному, т. е. поверхность грунтовых вод при вскрытии их скважинами устанавливается в них на той глубине, где они были встречены. Нередко поэтому грунтовые воды называют безнапорными — в отличие от напорных, имеющих избыточный напор над перекрывающей их водоупорной кровлей.

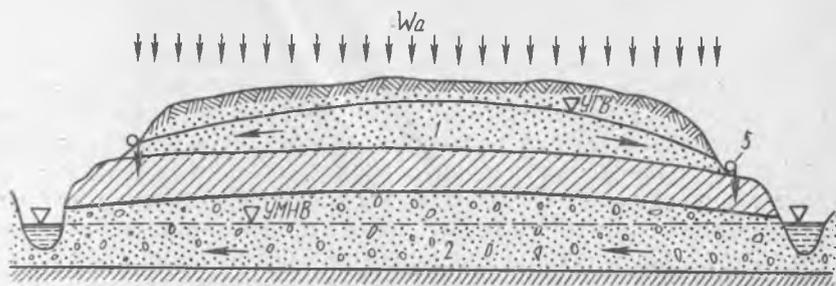


Рис. 39. Грунтовые и межпластовые ненапорные воды:

1 — грунтовые воды; 2 — межпластовые ненапорные воды; 3 — разгрузка грунтовых вод в виде источников; W_a — инфильтрационное питание; $УГВ$ — уровень грунтовых вод; $УМНВ$ — уровень межпластовых ненапорных вод

Условия залегания грунтовых вод на первом от поверхности выдержанном водоупоре определяют особенности их питания, распространения, движения и разгрузки. Области питания и распространения грунтовых вод совпадают, т. е. питание их через зону аэрации осуществляется по всей площади их распространения. Поэтому расход потока грунтовых вод является величиной переменной (как правило, увеличивается по пути их движения). Основными источниками питания грунтовых вод являются атмосферные, поверхностные и конденсационные воды. Грунтовые воды имеют тесную гидравлическую связь с поверхностными водотоками и водоемами и в зависимости от соотношения их уровней либо разгружаются в них (дренируются), обеспечивая их подземное питание, либо питаются поверхностными водами (особенно при подпорах и в паводки). При изменении уровня воды в поверхностных водоемах изменяется уровень в гидравлически с ними взаимосвязанных горизонтах грунтовых вод. Характерна также тесная зависимость режима уровней, качества и количества грунтовых вод от климатических факторов, процессов, протекающих в зоне аэрации, и инженерной деятельности человека (повышение уровней и запасов в дождливое время и понижение их в засуху, ухудшение качества вод при инфильтрации сточных вод и т. п.).

Грунтовые воды разгружаются в виде источников, пластовых выходов, мочажин в местные понижения и поверхностные водотоки и водоемы. При залегании близко к поверхности (0—4 м) они могут разгружаться путем испарения через зону капиллярной каймы. На отдельных участках возможна гидравлическая взаимосвязь грунтовых вод с лежащими ниже напорными водами через отдельные литологические окна и участки размыва разделяющих их водоупорных толщ. При этом в зависимости от соотношения уровней взаимосвязанных горизонтов будет происходить либо питание, либо разгрузка грунтовых вод.

Грунтовые воды движутся от мест с более высоким их уровнем к местам с пониженным уровнем, обычно от участков с повышенным рельефом и водоразделов в сторону местных понижений, оврагов, балок и речных долин. Разгружаются грунтовые воды в этих понижениях обычно в виде нисходящих источников. Поверхность грунтовых вод (зеркало, скатерть), как правило, в несколько сглаженном виде соответствует рельефу местности. При этом гидравлические уклоны поверхности грунтовых вод обычно невелики и составляют в среднем 0,05—0,001. На отдельных участках уровень грунтовых вод может быть практически горизонтальным, что свидетельствует о незначительной скорости их фильтрации либо о полном ее отсутствии.

Наглядное представление об условиях распространения и движения грунтовых вод дает *карта гидроизогипс*, на которой показывают положение поверхности грунтовых вод в изолиниях, соединяющих точки с одинаковыми отметками уровня подземных вод. Строят такую карту аналогично карте рельефа земной поверхности в горизонталях, используя результаты одновременных замеров уровня грунтовых вод во всех имеющихся скважинах, колодцах и естественных выходах грунтовых вод. Если наблюдается резкое изменение уровня грунтовых вод в различные периоды, то карты гидроизогипс составляют на эти характерные периоды и даты (например, когда уровень грунтовых вод бывает максимальным и минимальным). Для получения данных об изменении уровня проводят специальные наблюдения за их режимом (так называемые режимные наблюдения).

Карта гидроизогипс позволяет определять направление движения грунтовых вод (по нормальям к гидроизогипсам), гидравлические уклоны и скорость фильтрации, глубину залегания грунтовых вод (по разности отметок горизонталей поверхности Земли и гидроизогипс водной поверхности), характер взаимосвязи грунтовых вод с поверхностными (по характеру сопряжения гидроизогипс с поверхностными водоемами и направлению движения подземных вод) и решать другие практические задачи. Нередко на основе карты гидроизогипс составляют и *карту глубины залегания грунтовых вод* (в изолиниях равных глубин или с выделением зон определенной глубины залегания грунтовых вод). Такие карты широко используют при бурении скважин для целей водоснабжения, орошения и осушения.

К особому типу грунтовых вод относятся *межпластовые ненапорные воды*. Они, как и грунтовые воды, имеют свободную поверхность, давление на которой равно атмосферному, но залегают обычно между двумя водоупорными толщами (см. рис. 39). Из-за этого межпластовые воды питаются на ограниченных участках (в областях выхода водовмещающих отложений на поверхность, на участках их взаимосвязи с поверхностными водотоками и напорными водами) и находятся в более благоприятных санитарных условиях, чем незащищенные с поверхности грунтовые воды. В периоды интенсивного выпадения осадков и пикового уровня межпластовых вод могут повышаться вплоть до появления избыточных напоров над перекрывающей их водоупорной кровлей, тогда межпластовые ненапорные воды могут становиться напорными. Таким образом, межпластовые ненапорные воды являются как бы промежуточным типом подземных вод — по гидравлическому характеру они безнапорные и аналогичны грунтовым водам, однако по условиям залегания близки к напорным водам.

Грунтовые воды распространены повсеместно там, где температурные условия верхней части литосферы допускают их накопление и существование в жидкой фазе. Изучение условий их формирования и распространения показало, что существуют определенные закономерности зонального распределения различных по происхождению типов грунтовых вод. В частности, Г. Н. Каменский выделил на территории СССР два основных типа грунтовых вод: грунтовые воды выщелачивания и грунтовые воды континентального засоления.

Грунтовые воды выщелачивания характерны для областей с избыточным увлажнением, где осадки существенно преобладают над испарением, а также для некоторых площадей с недостаточным увлажнением, но хорошей дренированностью. Формирующиеся под влиянием процессов выщелачивания грунтовые воды являются пресными и слабо минерализованными, преимущественно гидрокарбонатными кальциевыми. Минерализация их постепенно увеличивается с севера на юг (от сотых и десятых долей до 1—2 г/л) с изменением состава от гидрокарбонатных до сульфатных и хлоридных.

Грунтовые воды выщелачивания распространены в пределах громадных площадей европейской части СССР и Сибири, а также в горных районах страны. В виде отдельных участков они встречаются и в зоне распространения грунтовых вод континентального засоления.

Грунтовые воды континентального засоления формируются в областях с засушливым климатом (в зонах степей, пустынь, полупустынь) с малым количеством атмосферных осадков, в условиях преобладающего развития испарения и слабой естественной дренированности пород. Это в основном слабо солоноватые и соленые воды сульфатного, сульфатно-хлоридного и хлоридного типа. Они широко распространены на юго-востоке европейской части СССР, в южной части Западно-Сибирской низменности и пустынных районах Средней Азии.

Грунтовые воды имеют большое народнохозяйственное значение. Их широко используют для целей хозяйственно-питьевого и сельскохозяйственного водоснабжения и орошения. Основными типами широко используемых грунтовых вод являются грунтовые воды речных долин, ледниковых отложений, степей, полупустынь и пустынь, конусов выноса и предгорных наклонных равнин, горных районов, песчаных морских побережий.

§ 24. Напорные воды

При вскрытии напорных вод горными выработками их уровень под действием избыточного напора поднимается и устанавливается выше водоупорной кровли, соответственно положению пьезометрической поверхности напорного водоносного горизонта (см. рис. 33). Величину напора обычно определяют по положению пьезометрического уровня горизонта относительно горизонтальной плоскости сравнения $O-O$.

Напорные воды расположены, как правило, ниже горизонтов грунтовых вод и характеризуются своеобразными условиями залегания, распространения, питания и разгрузки. Наличие водоупорной кровли, перекрывающей водоносный пласт, затрудняет питание и разгрузку напорных вод и их взаимосвязь с поверхностными водами и атмосферой. Питание напорных водоносных горизонтов осуществляется возможным лишь в области выхода водопроницаемого пласта на поверхность, где создаются условия для проникновения в пласт путем инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод. Как уже говорилось, эта область, имеющая меньшие размеры, чем область распространения напорных вод, называется *областью питания*. Она обычно расположена на наиболее высоких отметках, нередко на значительном удалении от областей распространения и разгрузки напорных вод. В области питания подземные воды имеют свободную поверхность и тесную гидравлическую взаимосвязь с поверхностными водами (см. рис. 33; рис. 40).

Область, в пределах которой подземные воды имеют избыточный над перекрывающей их водоупорной кровлей напор, называется *областью напора* (или областью распространения напорных вод). В этой области подземные воды, как правило, не получают питания по пути их движения (так как они изолированы в разрезе водоупорами) и расход их не изменяется. На отдельных участках возможен самоизлив напорных вод при вскрытии их скважинами там, где отметки пьезометрического уровня превышают отметки земной поверхности (см. рис. 40).

Разгрузка напорных вод происходит в области их выхода на поверхность на пониженных по сравнению с областью питания участках, а также на участках естественного (реки, овраги, балки и т. п.) и искусственного (скважины, колодцы, шахты, карьеры и т. п.) вскрытия напорных вод. В естественных условиях напорные воды, разгружаясь, образуют восходящие источники, ключи, грифоны и т. п., питают реки и другие поверхностные водоемы. Двигутся

напорные воды в направлении от областей питания к областям разгрузки. Интенсивность их движения уменьшается по мере увеличения глубины и удаления от областей питания.

Положение пьезометрической поверхности напорных вод характеризуется *картой пьезоизогипс* (гидроизопьез). Она составляется аналогично карте гидроизогипс грунтовых вод и представляет собой систему изолиний, соединяющих точки с одинаковыми отметками пьезометрического уровня. На карты пьезоизогипс наносят также изолинии отметок поверхности кровли и подошвы рассматриваемого напорного горизонта, что облегчает решение многих практических задач. Например, по карте пьезоизогипс определяют

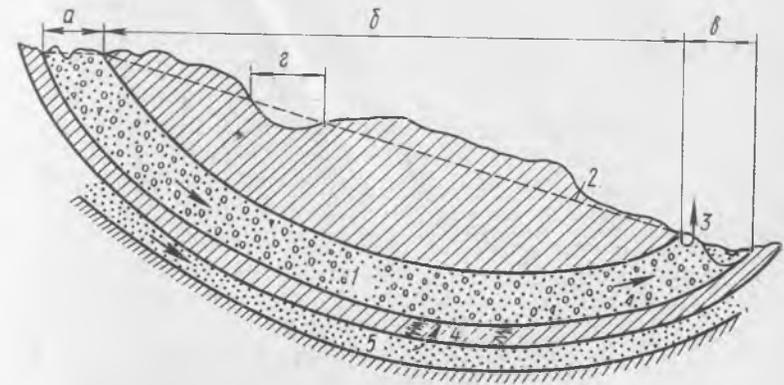


Рис. 40. Схема артезианского бассейна:

a — область питания; b — область напора; v — область разгрузки; z — область возможного самоизлива напорных вод; 1, б — напорные водоносные горизонты; 2 — пьезометрический уровень напорных вод горизонта 1; 3 — восходящий источник; 4 — участок возможной гидравлической взаимосвязи напорных горизонтов (гидрогеологическое «окно»)

направления движения напорных вод, гидравлические уклоны, напоры, участки возможного самоизлива вод. Если известны мощность напорного горизонта и его фильтрационные свойства, то можно определить скорость фильтрации подземных вод и расход потока (напомним, что в соответствии с законом Дарси $v = kI$ и $Q = kIF$).

Напорные воды, изолированные от атмосферы (связь имеется лишь в области питания и разгрузки), характеризуются меньшей зависимостью их режима от климатических факторов, относительным постоянством уровней, температуры и химического состава, меньшей загрязненностью и лучшим санитарным качеством воды. Поэтому их можно использовать для различных видов водоснабжения (хозяйственно-питьевого, производственно-технического, лечебно-питьевого, термального и др.) и орошения. При эксплуатации высоконапорных вод, находящихся в пластах под значительным давлением, большое практическое значение имеют их упругие запасы, высвобождающиеся из водоносных пластов при частичном снятии давления благодаря разуплотнению ранее сжатых пород и

воды. Несмотря на очень незначительную сжимаемость воды и горных пород упругие запасы напорных вод довольно велики, так как содержащие их водонапорные системы занимают значительные пространства.

На рис. 33 была показана общая схема распространения, питания и разгрузки напорных вод. В реальных природных условиях эти факторы зависят от геолого-структурных, тектонических, литологических, климатических и других особенностей того или иного

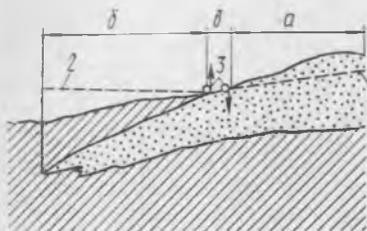


Рис. 41. Схема артезианского склона:

а — область питания, *б* — область напора, *в* — область разгрузки; 1 — свободный уровень подземных вод в области питания; 2 — пьезометрический уровень подземных вод в области напора; 3 — источники нисходящего и восходящего типов в области разгрузки

района. В частности, напорные воды могут питаться и разгружаться на участках, где возможна их гидравлическая взаимосвязь с соседними напорными и безнапорными водоносными горизонтами через литологические гидрогеологические «окна» (см. рис. 40), тектонические нарушения и участки с размывом разделяющих их водоупорных отложений. Интенсивная их разгрузка возможна также на участках, где напорные воды вскрываются карьерами, котлованами, шахтами, водозаборными сооружениями, а в естественных условиях — через русловые и дошные отложения рек, озер, морей (скрытая разгрузка). Пласты с напорными водами могут соединяться друг

с другом или выклиниваться (исчезать); это обеспечивает своеобразные условия для накопления и распространения напорных вод.

Напорные воды часто называют артезианскими, а вмещающие их геологические структуры (мульды, синклинали, моноклинали, впадины и др.) — *артезианскими бассейнами*. В пределах артезианского бассейна может иметься один или несколько напорных водоносных горизонтов или комплексов, взаимосвязанных или изолированных друг от друга водоупорными отложениями (см. рис. 40). Положение пьезометрических поверхностей, входящих в состав бассейна напорных водоносных горизонтов, зависит от высотного расположения областей их питания и разгрузки, а также от степени гидравлической взаимосвязи напорных горизонтов. Пьезометрическая поверхность глубоко залегающих водоносных горизонтов в значительной мере определяется геостатическим давлением толщи вышележащих отложений. Значительно более высокие давления в центральных частях бассейнов, чем в краевых, могут вызывать движение подземных вод от центральных частей к краевым, т. е. к периферийным областям питания артезианских бассейнов.

Своеобразные бассейны напорных вод встречаются в предгорных и горных районах, где имеются моноклиналиное залегание и выклинивание водовмещающих отложений, способствующие образованию так называемых *артезианских склонов* (рис. 41). Форми-

рующиеся в области питания артезианского склона подземные воды разгружаются в виде источников восходящего и нисходящего типов в непосредственной близости от области питания. Напорный характер воды артезианского склона имеют в зоне их перекрытия водоупорными отложениями. Гипсометрически область напора находится, таким образом, на более низких абсолютных отметках, чем область разгрузки.

Химический состав напорных вод артезианских бассейнов зависит от интенсивности движения подземных вод, условий их питания, формирования и разгрузки. Известно, что интенсивность движения подземных вод в каждом из водоносных горизонтов тем больше, чем больше разница в высотном положении областей питания и разгрузки и лучше водопроницаемость вмещающих воду отложений. Более интенсивному водообмену благоприятствуют также значительные размеры области питания и выпадающих атмосферных осадков.

В артезианских бассейнах с интенсивным движением подземных вод распространены, как правило, пресные инфильтрационные воды с невысокой минерализацией. Мощность зоны интенсивного водообмена в благоприятных условиях может составлять 1000 м и более. В крупных артезианских бассейнах с небольшими по площади областями питания пресные воды приурочены к неглубоко залегающим водоносным горизонтам и комплексам. В более глубоко залегающих горизонтах, не охваченных интенсивным водообменом, широко распространены минерализованные и высокоминерализованные подземные воды различного состава (гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатные, сульфатно-хлоридные). Обычно эту зону называют *зоной затрудненного водообмена*. В артезианских бассейнах с неблагоприятными условиями водообмена (незначительная разница в высотном положении областей питания и разгрузки, глубокое залегание и широкое региональное распространение напорных вод, закрытый характер водовмещающих структур и т. д.) ниже этой зоны находится *зона весьма затрудненного водообмена*, в пределах которой в водоносных горизонтах сохраняются седиментационные древние воды (воды морского происхождения). Как правило, это высокоминерализованные воды и рассолы хлоридно-натриевого и хлоридного кальциево-натриевого типов.

Таким образом, для артезианских бассейнов характерны определенные гидродинамическая и гидрохимическая зональности. Наличие и мощность каждой из зон и их взаимное расположение зависят от конкретных условий бассейна и совокупности факторов, определяющих формирование, накопление, движение и расходование подземных вод.

Напорные воды артезианских бассейнов имеют большое практическое значение не только как источник водоснабжения. В зависимости от их химического и газового состава, наличия в них биологически активных и промышленных микрокомпонентов, их температуры и других показателей напорные подземные воды широко используют в курортно-санаторном деле (минеральные воды), для

промышленного извлечения солей и ценных микрокомпонентов (промышленные воды), для целей теплофикации, теплоэнергетики и теплично-парникового хозяйства (термальные воды).

Характеризуя пространственное распространение напорных вод, известный советский гидрогеолог А. М. Овчинников выделил следующие типы водонапорных систем земной коры: 1) крупные артезианские бассейны платформенных областей, 2) средние артезианские бассейны краевых прогибов и больших межгорных впадин, 3) малые артезианские бассейны, обычно «наложенные» на большие и средние бассейны, 4) сочлененные бассейны подземных вод горных сооружений, 5) водонапорные системы трещинных вод в кристаллических и метаморфических породах, 6) большие бассейны и потоки грунтовых вод, местами имеющие напорный характер. Площади крупных артезианских бассейнов превышают 100 000 км², площади мелких артезианских бассейнов — не более 10 000 км². Примерами крупных артезианских бассейнов платформенного типа являются Западно-Сибирский, Московский, Прибалтийский, Днепровско-Донецкий и др. Детальное описание напорных вод различных бассейнов и водонапорных систем дается в специальной литературе по региональной гидрогеологии.

§ 25. Подземные воды в трещиноватых и закарстованных породах

Подземные воды в трещиноватых и закарстованных породах по гидравлическому характеру могут быть как грунтовыми, так и напорными. Рассмотрение их как самостоятельного типа подземных вод вызывается лишь некоторым своеобразием вмещающих их коллекторов, что, в свою очередь, предопределяет некоторые особенности их накопления, распространения и движения.

Трещинные воды. Подземные воды, залегающие и циркулирующие в трещиноватых магматических, метаморфических и осадочных горных породах, называют обычно трещинными. Условия их залегания и распространения зависят от происхождения и характера трещиноватости горных пород. По происхождению выделяют три основных типа трещин: трещины выветривания, литогенетические и тектопические.

Трещины выветривания возникают в процессе выветривания, что обуславливает наибольшую трещиноватость верхних слоев пород. Максимальная трещиноватость наблюдается на глубине первых 2—3 м, затем она постепенно уменьшается; иногда трещиноватость распространяется до глубины 200 м. Наиболее водообильными являются трещины выветривания в породах, подверженных выщелачиванию, — известняках, доломитах, мелах и др. Менее водообильны трещины в метаморфических и изверженных породах. Трещинные воды современной коры выветривания обычно имеют свободную поверхность, т. е. являются грунтовыми. Подземные воды древней коры выветривания, перекрытые водоупорными отложениями, могут быть напорными.

Литогенетические трещины, возникающие в процессе образования горной породы, обычно пересекают всю ее толщу, образуя пласты трещиноватых пород. Такие трещины уходят на значительную глубину и способствуют формированию водообильных и больших по площади водоносных горизонтов. Так, в артезианских бассейнах широко распространены напорные горизонты трещинно-пластовых вод. В излившихся на поверхность трещиноватых базальтовых лавах (Армения) имеются мощные и водообильные горизонты грунтовых вод, обеспечивающие возможность водоснабжения крупных населенных и промышленных пунктов.

Тектонические трещины находятся в зонах разломов, сбросов, надвигов и других тектонических нарушений. Они пересекают пласты разного состава, могут обладать значительной водообильностью и иметь в глубину много сот метров. Через тектонические трещины и нарушения может осуществляться гидравлическая связь различных водоносных горизонтов. Наибольшая водообильность связана обычно с зонами разрывных тектонических нарушений (сбросов, взбросов), где нередко отмечаются дробление и интенсивная трещиноватость пород. Глубокие тектонические трещины и нарушения служат хорошими коллекторами для вывода на поверхность термальных и минеральных вод. Характерным примером является Копет-Дагская зона тектонических нарушений, где из крупных сбросовых нарушений, проходящих вдоль подошвы Копет-Дага, выходят мощные термальные источники. Сильно обводненные тектонические трещины и нарушения при бурении скважин являются причиной значительного притока воды, разбавления глинистого раствора, повышения его температуры и других аномальных явлений.

Подземные воды, связанные с тектоническими трещинами, называют обычно трещинно-жилыми. Большой частью они являются напорными.

Горные породы могут быть разбиты трещинами различного происхождения. Эта трещиноватость бывает закономерной (например, по напластованию, перпендикулярно к тектоническим нарушениям, вдоль них и т. д.) и не закономерной, открытой и закрытой (когда трещины заполнены рудным или цементирующим веществом), равномерной и неравномерной и т. д. Совокупность различных по происхождению трещин образует сложные трещинные системы, в которых нередко подземные воды различных трещин гидравлически взаимосвязаны и имеют разнородный химический состав.

Питание подземных вод трещиноватых пород осуществляется главным образом путем инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод. Поэтому по минерализации это преимущественно пресные воды. Подземные воды тектонических нарушений и трещиноватых пород фундамента, перекрытого мощной толщей осадочных отложений, могут быть высокоминерализованными (вплоть до рассолов).

Движение трещинных вод подчиняется линейному закону фильтрации, хотя в отдельных случаях возможны некоторые отклоне-

ния. В гидродинамическом отношении насыщенные водой трещиноватые горные породы не являются сплошной гидродинамической системой, как зернистые породы, так как вода движется только по трещинам, объем которых является лишь сравнительно малой частью объема вмещающих воду горных пород. Крупные трещины и поры в блоках горных пород как бы дренируют мелкие трещины и поры, играющие роль емкости для подземных вод. Влияние откачек, выражающееся в снижении уровня грунтовых вод, распространяется в трещиноватых породах быстрее, чем в зернистых. Дебиты скважин по мере эксплуатации уменьшаются.

Карстовые воды. Подземные воды, залегающие и циркулирующие в карстовых трещинах, пустотах, каналах и пещерах, образующихся в результате растворения и выщелачивания известняков, доломитов, гипсов, ангидритов, солей и других карстующихся пород, называют карстовыми, или трещинно-карстовыми. В отличие от перестраиваемых пористых и трещиноватых пород, где пористость и трещиноватость водопроницаемых отложений относительно постоянна, в карстующихся породах пути движения подземных вод (трещинки, поры и т. п.) могут расширяться вплоть до образования крупных по размерам подземных пустот, каналов и пещер. Заполненные подземными водами закарстованные породы образуют исключительно водообильные водоносные горизонты, которые можно широко использовать для питьевого и технического водоснабжения.

Гидрогеологические условия трещиноватых и закарстованных пород во многом сходны. Однако интенсивность движения подземных вод в карстующихся породах более высокая, что в свою очередь благоприятствует дальнейшему развитию процессов карстообразования. Карстовые процессы развиваются тем интенсивнее, чем больше выпадает атмосферных осадков и чем больше скорость фильтрации подземных вод. Наиболее интенсивное карстообразование наблюдается в условиях влажного климата вблизи склонов и на участках с большой тектонической трещиноватостью пород.

Районы, подверженные карсту, характеризуются быстрым поглощением атмосферных осадков и поверхностных водотоков и существенным преобладанием подземного стока над поверхностным. Режим подземных вод закарстованных пород тесно связан с климатом. При выпадении осадков вследствие их интенсивного поглощения уровень карстовых вод резко повышается, расходы источников заметно возрастают и нередко достигают нескольких кубометров в секунду. В засушливые же периоды уровень вод резко падает, и дебит источников сокращается вплоть до полного исчезновения. Такая зависимость режима карстовых вод от климата наиболее характерна для зоны интенсивного водообмена, расположенной выше глубины вреза речной сети. Карстовые воды этой зоны легко загрязняются бытовыми и сточными водами, что следует учитывать при их разведке и эксплуатации. В более глубоких зонах, расположенных вне дренирующего влияния рек, карстовые

воды меньше зависят от климатических факторов и имеют, как правило, напорный характер и более устойчивый режим.

Движение подземных вод в закарстованных породах подчиняется линейному закону фильтрации. Некоторые отклонения возможны лишь на участках с крупными пещерами и полостями. При горно-буровых работах в карстовых районах возможны внезапные прорывы подземных вод, затопления, провалы бурового инструмента и пр.

Химический состав карстовых вод изменяется в зависимости от состава пород и интенсивности циркуляции воды от пресных гидрокарбонатных до рассольных хлоридных (см. § 17).

Карстовые воды имеются в Прибалтике, Карпатах, Крыму, на Украине, Кавказе, Средней Азии, Урале и могут быть использованы для целей водоснабжения.

Контрольные вопросы

1. Что такое верховодка? Каковы условия ее образования и особенности?
2. Какими особенностями залегания, питания, разгрузки и режима характеризуются грунтовые воды?
3. Что такое карта гидроизогипс и какие задачи позволяет она решать?
4. Чем отличаются напорные воды от межпластовых безнапорных?
5. Каковы основные элементы артезианского бассейна? Нарисуйте его схему.
6. Каковы особенности режима напорных вод?
7. Что такое карта гидроизопьез? Для каких целей ее используют?
8. Каковы особенности залегания, питания, движения и разгрузки подземных вод трещиноватых и закарстованных пород?
9. Какими особенностями характеризуется режим карстовых вод?

ГЛАВА 9

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН, СПОСОБЫ ИЗОЛЯЦИИ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ ПРИ БУРЕНИИ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМ ОПРОВОДАНИИ СКВАЖИН

Наилучшим методом изучения гидрогеологических условий является бурение и опробование скважин. Объем и достоверность получаемой при этом гидрогеологической информации во многом зависят от правильного выбора способа бурения и конструкции гидрогеологических скважин, качества гидрогеологической документации буровых работ и опробования, надежности изоляции водоносных горизонтов, технической подготовки скважин и горизонтов к испытаниям и других факторов геолого-технического характера.

Способ бурения и конструкция скважины должны обеспечивать получение необходимого объема достоверной гидрогеологической информации, высококачественное опробование изучаемых водоносных горизонтов и выполнение остальных функций скважины в соответствии с ее целевым назначением при минимальных затратах труда, времени и средств. В последние годы применяют следующие

щие способы бурения гидрогеологических скважин: ударно-канатный, вращательный с прямой и обратной промывкой, комбинированный и вращательный с продувкой (первые три способа предпочтительнее). Для осуществления необходимого комплекса гидрогеологических исследований минимальные конечные диаметры (проходные сечения) скважин должны составлять: для разведочных, разведочно-эксплуатационных и эксплуатационных — 80—100, для наблюдательных — 40—80 мм. В каждом конкретном случае способ бурения и конструкцию скважины выбирают в зависимости от ее целевого назначения, глубины, конечного диаметра, геолого-гидрогеологических особенностей разреза и степени его изученности.

§ 26. Гидрогеологические наблюдения при бурении скважин

Гидрогеологические наблюдения ведутся непосредственно при проходке скважин, а также при их гидрогеологическом опробовании в процессе бурения. Задачами таких наблюдений являются выявление водоносных горизонтов, изучение условий их залегания, состава, мощности, водообильности, фильтрационных свойств, характера взаимосвязи водоносных горизонтов, химического состава подземных вод и получение другой гидрогеологической информации.

Виды и характер гидрогеологических наблюдений при бурении скважин во многом зависят от способа их бурения. В общем случае при бурении скважин проводят гидрогеологические наблюдения за уровнями подземных вод, литологическим составом, пористостью и трещиноватостью горных пород, состоянием глинистого раствора и его поглощением, провалами бурового инструмента и выходом керна, температурой вскрываемых вод и газопроявлениями; берут пробы воды, газа и образцов горных пород для анализов и лабораторных исследований; выполняют специальное гидрогеологическое опробование вскрываемых водоносных пластов и горизонтов. Результаты гидрогеологических наблюдений фиксируют в сменных рапортах, буровых журналах, паспортах скважин и других первичных документах.

Наблюдения за проявившимся и установившимся (статическим) уровнем воды дают возможность установить глубину залегания и гидравлический характер (напорность) вскрываемых водоносных пластов и горизонтов. Уровень воды в скважинах измеряют при помощи гидрогеологических рулеток, хлопушек, уровнемеров и других приборов. При самоизливе воды из скважины уровень ее определяют по высоте фонтана над устьем скважины. При бурении скважин без промывки замеры проявившегося и установившегося уровня воды не вызывают затруднений. При бурении же скважин с промывкой вскрытие водоносных горизонтов фиксируют косвенно, на основании наблюдений за выходом и потерями промывочной жидкости. В частности, вскрытие водопроницаемых пород или во-

доносного горизонта может быть обнаружено по увеличению или полному поглощению промывочного раствора, изменению физических свойств раствора (плотности и вязкости) в результате его разбавления водой, по резкому изменению уровня жидкости в скважине, наблюдаемому во время перерывов в бурении. Полное исчезновение промывочного раствора при прекращении бурения обычно свидетельствует о вскрытии необводненных проницаемых пород, а установление его на определенной глубине — о вскрытии водоносного горизонта. Соответствие уровня жидкости в скважине статическому уровню горизонта проверяют путем кратковременного долива воды в скважину или ее откачки из скважины. Восстановление уровня на прежней глубине свидетельствует о соответствии замеренного уровня статическому.

В процессе бурения скважины уровень воды следует замерять от одного до трех раз в смену (в зависимости от скорости проходки и количества подъемов бурового снаряда). Во время замера буровой снаряд должен быть извлечен из скважины. В целях экономии времени гидрогеологические наблюдения приурочивают к подъемам снаряда для извлечения керна и к другим перерывам в бурении.

При бурении скважин с глинистой промывкой чрезвычайно ценными являются наблюдения за поглощением глинистого раствора, изменением его плотности, вязкости, температуры, химического состава. Эти наблюдения позволяют сравнить водопроницаемость пород, зафиксировать вскрытие водоносных горизонтов и зон необводненных водопроницаемых пород.

При обнаружении признаков вскрытия водоносного горизонта (уменьшение вязкости и плотности глинистого раствора, изменение его температуры, резкое изменение уровня жидкости в скважине и пр.) проходку скважины следует приостановить для определения уровня вскрытого горизонта и при необходимости — его гидрогеологического опробования.

Наблюдения за литологическим составом, пористостью и трещиноватостью пород, вскрываемых скважиной, позволяют ориентировочно судить о степени водопроницаемости пород и установить глубину залегания и мощность водоносных горизонтов. Представление о водопроницаемости пород дают также данные о степени выхода керна (например, трещиноватые водопроницаемые породы дают малый выход керна, слабопроницаемые и монолитные — большой). Сопоставление выхода керна при различной глубине бурения с результатами наблюдений за уровнем воды и поглощением промывочного раствора дает возможность оценить водоносность того или иного интервала. Весь керн из скважин следует тщательно отбирать, документировать и укладывать в ящики.

При бурении сплошным забоем большое значение имеют наблюдения за износом долот, скоростью и режимом бурения. Литологический состав пород изучается при этом по шламу, отбираемому при бурении из желобной системы. Шлам отбирают регулярно через каждый метр проходки скважины.

За температурой воды и промывочного раствора наблюдают как в процессе бурения скважины, так и после его окончания, когда восстанавливается нарушенный бурением тепловой режим подземных вод и горных пород. Особенно ценны эти наблюдения при бурении скважин на термальные воды и в области многолетней мерзлоты. Температуру измеряют гидрогеологическими и электрическими термометрами и другими приборами. Эти замеры позволяют установить глубину вскрываемых водоносных горизонтов и мерзлых пород, мощность многолетней мерзлоты, водоносные тектонические нарушения.

При бурении в трещиноватых и карстующихся породах необходимо фиксировать провалы бурового инструмента, вызываемые наличием крупных трещин, пустот и полостей, что свидетельствует о высокой водопроницаемости пород.

Наблюдения за изменением химического состава промывочного раствора (обычно фиксируют изменение одного-двух характерных компонентов, например Na^+ , Cl^- или SO_4^{2-}) дают информацию о вскрытии водоносных отложений и ориентировочной их водообильности. Особенно важны эти наблюдения при бурении скважин на минеральные и промышленные воды, характеризующиеся высокой минерализацией и специфическим составом.

Пробы воды для изучения химического состава подземных вод вскрываемых водоносных горизонтов отбирают при помощи желонки, водоносов и пробоотборников после предварительного оттартовывания или откачки воды из скважины до ее полного осветления. Обычно пробы берут в то время, когда бурение скважины приостанавливают для определения положения статических уровней или в процессе откачек. Объемы проб зависят от характера и назначения анализа и обычно составляют 1—2 л.

В процессе бурения скважин необходимо вести наблюдения за газопроявлениями и при возможности отбирать пробы газа, выделяющегося из промывочной жидкости. Пробы же растворенного в воде газа отбирают при помощи специальных пробоотборников и дегазаторов одновременно с отбором проб воды.

Для получения более полных данных о вскрываемых водоносных горизонтах, в частности об их водообильности и фильтрационных свойствах, выполняют специальное гидрогеологическое опробование. В процессе бурения скважин и вскрытия водоносных горизонтов их предварительно опробуют путем желонирования, кратковременных откачек или наливов (экспресс-опробование), испытания пластов специальными опробователями и испытательными комплектами; применяют также метод опережающего опробования, для чего вводят в скважину специальный фильтр-опробователь.

Гидрогеологические наблюдения при опробовании вскрываемых горизонтов заключаются в замерах и регистрации дебитов и измерении уровней как в процессе откачек, так и после их прекращения (восстановления уровня). Полученные данные используют для сравнительной оценки фильтрационных свойств и водообильности

вскрываемых горизонтов и пластов, выбора участков для установки фильтров, детального гидрогеологического изучения участков и т. п. Более подробно методы гидрогеологического опробования (опытно-фильтрационные работы) рассмотрены в гл. 10, а также в специальных руководствах.

§ 27. Способы изоляции водоносных горизонтов

Для проведения в процессе бурения скважин или после его завершения высококачественного гидрогеологического и гидрохимического опробования отдельных водоносных пластов и горизонтов необходимо их тщательно изолировать от смежных в разрезе пластов и горизонтов. Это нужно также для исключения перетоков воды из одного пласта в другой, перекрытия поглощающих горизонтов, предотвращения загрязнения водоносных пластов, обеспечения устойчивости стенок скважины и для других целей.

Наиболее распространенным и простым способом изоляции водоносного горизонта является спуск в скважину колонн обсадных труб и вдавливание их башмаков в подстилающие водоносный горизонт водоупорные глинистые породы на глубину 3—5 м. Если подстилающий водоупор ненадежен или состоит из скальных пород, то башмак колонны обсадных труб вдавливают в специальный глинистый тампон, создаваемый искусственно на забое скважины из жирной тампонажной глины (ее набрасывают в скважину в виде шариков либо выдавливают из труб). Более надежным способом при скальном водоупоре является бурение для создания глинистого тампона специального кармана (стакана) и заполнение его тампонажной глиной. Иногда стакан заполняют цементом. Качество изоляции водоносного горизонта проверяют откачкой или наливом воды при ударном способе бурения и нагнетанием воды при роторном бурении. Постоянство уровня воды в скважине после откачки свидетельствует о хорошей изоляции горизонта.

Для более надежной и длительной изоляции водоносных горизонтов, пластов и зон применяют цементацию башмаков колонн обсадных труб, манжетную цементацию или цементацию колонн обсадных труб в целом. Для цементации берется тампонажный цемент специальных марок.

Цементацию колонн обсадных труб (затрубную цементацию) используют для надежной изоляции испытуемого горизонта. Для этого все лежащие выше горизонты перекрывают колонной обсадных труб, затрубное пространство которой цементируют от башмака до устья скважины или до определенной высоты. Если лежащий ниже водоносный горизонт, подлежащий опробованию или эксплуатации, является высоконапорным и самонзливающимся, то колонны обсадных труб обязательно цементируют до устья скважины. Диаметр изолируемой части скважины при цементации должен быть на 50—120 мм больше диаметра цементируемых труб.

Технически цементацию ведут различными способами (через заливочные трубы, при помощи цементируемых головок и разде-

ляющих пробок и др.). При больших глубинах бурения и благоприятных гидрогеологических условиях (отсутствие гидравлической взаимосвязи горизонтов, слабая агрессивность вод) можно ограничиться подбашмачной цементацией колонн обсадных труб.

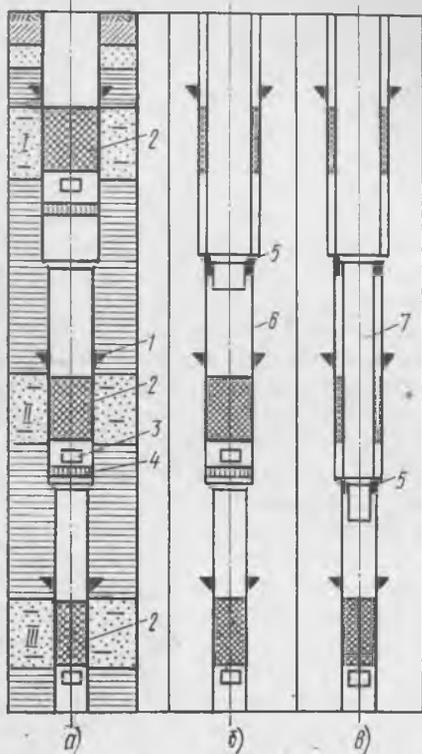


Рис. 42. Одноколонная скважина вращательного бурения с тремя фильтрами:

а — опробование водоносного горизонта I; б — опробование водоносного горизонта II; в — опробование водоносного горизонта III; 1 — эластичный сальник; 2 — фильтр; 3 — промывочное окно; 4 — цементная пробка; 5 — пеньковый сальник; 6 — колонна обсадных труб; 7 — вспомогательная колонна труб

Манжетную цементацию применяют тогда, когда колонну обсадных труб спускают в скважину вместе с установленным на ее конце фильтром и возникает необходимость в цементации затрубного пространства выше фильтра. Подаваемый через специальные клапанные отверстия в стенках колонны цементный раствор цементирует затрубное пространство на некоторую высоту, образуя изолирующую манжету. Манжетную цементацию используют также для изоляции двух смежных в разрезе водоносных горизонтов (пластов). Перед манжетной цементацией стенки скважины обязательно очищают от глинистого раствора (производят разглинизацию).

В ряде случаев (при большой глубине скважин, частом переслаивании пород различной твердости, агрессивности подземных вод) для изоляции водоносных горизонтов применяют затрубную цементацию колонн обсадных труб (в том числе хвостовиков) с последующим вскрытием опробуемых горизонтов или их участков.

Все эти способы изоляции водоносных горизонтов требуют значительных затрат време-

мени, большого расхода труб, обязательного использования новой колонны обсадных труб для опробования каждого следующего горизонта и уменьшения диаметра скважины на 4—6". Поэтому когда скважиной необходимо вскрыть и последовательно опробовать несколько горизонтов, применять эти способы нецелесообразно. В таких условиях для разделения и изоляции опробуемых горизонтов или участков используют временные тампоны, пробки, сальни-

ки и т. д. Способы изоляции водоносных горизонтов при этом зависят от принятой схемы и методов их опробования. Например, в устойчивых породах, где обычно применяют раздельное опробование горизонтов по схеме сверху вниз, их изолируют при помощи цементных мостов (пробок). Для этого скважину проходят до проектной отметки без крепления ее стенок, проводят необходимые геофизические исследования и затем последовательно снизу вверх устанавливают в скважине цементные пробки (путем заливки цемента через трубы в предварительно расклиненный деревянным клином участок скважины). Изолированные один от другого горизонты опробуют последовательно сверху вниз. Опробованный горизонт перекрывают обсадными трубами до цементного моста, разбуривают мост и опробуют новый горизонт.

В других условиях предназначенные для опробования горизонты вскрывают одной колонной обсадных труб, устанавливают на ней фильтры для каждого горизонта и разобщают эти фильтры цементными мостами (рис. 42). Изолированные таким образом горизонты опробуют последовательно сверху вниз, используя специальную водоподъемную колонну с эластичным сальником для изоляции уже опробованного горизонта. После извлечения водоподъемной колонны может быть произведено суммарное опробование всех вскрытых в скважине горизонтов. Разглинизацию горизонтов при этом способе опробования производят либо комбинированным способом либо обратно всасывающей промывкой через промывочные окна, устанавливаемые в нижней части фильтров (см. рис. 42).

Для временной изоляции в скважине испытуемых участков и горизонтов широко используют специальные тампоны (пакеры). Их устанавливают на необходимой глубине и после опробования выделенного горизонта вынимают. В зависимости от метода опробования пакеры устанавливают перед испытуемым горизон-

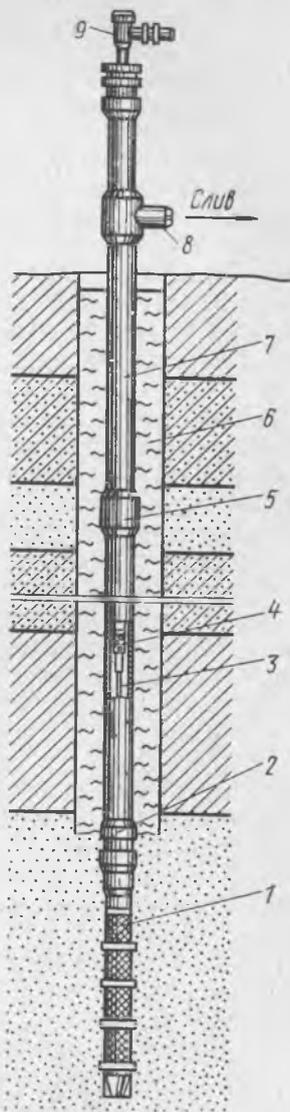


Рис. 43. Схема опережающего опробования водоносных горизонтов:

- 1 — фильтр-опробователь;
- 2 — переходник;
- 3 — датчик уровня;
- 4 — трубы эрлифта;
- 5 — ниппель;
- 6 — глинистый раствор;
- 7 — бурильные трубы;
- 8 — тройник для слива воды;
- 9 — тройник воздушной линии

том, ниже его или изолируют ими интервал опробования сверху и снизу. Конструктивно пакер представляет собой эластичную оболочку (в простейшем случае сальник), которая при изменении ее объема превращается в изолирующий тампон (резиновое кольцо, трубу, диск, надувной манжет и т. п.).

Пакеры широко применяют при гидрогеологическом опробовании скважин и горизонтов с помощью специальных испытателей и опробователей пластов, используемых в устойчивых от обрушения разрезах гидрогеологических скважин. Так, они имеются в комплектах испытательных инструментов КИИ-65, КИИ-146 (резиновые пакеры осевого давления), испытательных снарядах ИСВ, СИП-3 (резиновые пакеры), гидрогеологических опробователях пластов ОПГ-4-5, ОПГ-7-10. Следует отметить, что для надежной изоляции на пакеры должна действовать осевая нагрузка 5—7 т.

Особо следует упомянуть о методе опережающего опробования пластов, не требующем применения специальных способов их изоляции и существенного изменения технологии бурения скважин. После вскрытия пласта бурение прекращают, промывают скважину высококачественным глинистым раствором (что обеспечивает изоляцию испытуемого горизонта от лежащих выше), извлекают буровой наконечник и на буровых трубах опускают в скважину специальный фильтр-опробователь промывочного или шнекового типа. После введения фильтра в испытуемый горизонт замеряют уровень воды в буровых трубах и откачивают подземные воды.

Схема опережающего опробования водоносного горизонта дана на рис. 43.

Разведочные и другие гидрогеологические скважины после выполнения ими своих функций, если не предполагается их использовать для каких-либо других целей (например, в качестве наблюдательных или режимных скважин), должны быть обязательно ликвидированы путем соответствующей санитарно-технической заделки (тампонажа) с проведением мероприятий, исключающих перетекание подземных вод из одних водоносных горизонтов в другие и их загрязнение.

Контрольные вопросы

1. Какие виды гидрогеологических наблюдений проводят при бурении скважин?
2. Какие наблюдения ведут при бурении скважин с глинистой промывкой?
3. Для чего изолируют водоносные горизонты в скважинах?
4. Какие способы изоляции водоносных горизонтов вы знаете?
5. Как проверяют качество изоляции водоносного горизонта?
6. Как изолируют и опробуют водоносные горизонты по схеме сверху вниз?

**ПОЛЕВЫЕ ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАБОТЫ
И СТАЦИОНАРНЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
НАБЛЮДЕНИЯ**

Важнейшей задачей гидрогеологических исследований является определение расчетных гидрогеологических параметров водоносных горизонтов и пород зоны аэрации, без которых невозможны количественная оценка и различного рода инженерные расчеты и прогнозы при решении разнообразных народнохозяйственных задач.

Гидрогеологические параметры (главным образом характеризующие фильтрационные свойства и водообильность горных пород) определяют на основе проведения полевых опытно-фильтрационных работ (откачек из скважин, наливов и нагнетаний в скважины, наливов в шурфы, экспресс-опробований), стационарных гидрогеологических наблюдений, лабораторных работ, геофизических исследований, моделирования. При этом во всех случаях (кроме геофизических исследований) определение гидрогеологических параметров сводится к решению обратных задач, т. е. соответствующие уравнения движения подземных вод решаются относительно входящих в них гидрогеологических параметров. Значения напоров, расходов и других элементов потока, входящих в исходные уравнения, принимаются равными их фактическим значениям, устанавливаемым в процессе исследований (при опытно-фильтрационных работах в полевых и лабораторных условиях, при стационарных наблюдениях и т. п.).

Чаще всего в гидрогеологической практике для определения параметров проводят опытно-фильтрационные работы (откачку, налив, нагнетание, экспресс-опробование). Достаточно надежные значения гидрогеологических параметров могут быть получены по данным режимных наблюдений и моделирования, однако в этих случаях необходимы сведения об изменении уровней и расходов потока по сети наблюдательных точек (скважин, створов, постов).

Лабораторные методы определения фильтрационных свойств применяют для массовых ориентировочных оценок на начальных этапах исследований. Воду фильтруют через отобранные образцы горных пород при помощи специальных фильтрационных приборов. Применяют также эмпирические методы определения фильтрационных свойств, основанные на учете связи этих свойств с различными показателями горных пород (гранулометрическим составом, пористостью и др.), определяемыми в лабораторных условиях.

Геофизические методы дают результаты, пригодные для ориентировочных оценок фильтрационных свойств и гидрогеологического расчленения изучаемого разреза. Их применяют также для определения направления и скорости движения подземных вод (индикаторные и другие методы).

Для повышения надежности определения гидрогеологических параметров и экономической эффективности исследований целесо-

образно комплексно применять различные методы с учетом их специфики, характера и требований решаемых задач, конкретных условий изучаемого объекта и других факторов.

§ 28. Откачки из скважин

Основным видом опытно-фильтрационных работ являются откачки. Их почти всегда применяют при опробовании водоносных пород, особенно при проведении изысканий для целей водоснабжения, осушения и дренажа. В зависимости от назначения откачки подразделяют на пробные, опытные и опытно-эксплуатационные, различающиеся продолжительностью проведения и конструкцией опытного куста скважин, состоящего из центральной и наблюдательных скважин.

Пробные откачки. Их применяют чаще всего, особенно на первых этапах поисково-разведочных работ. Пробные откачки производят практически из всех скважин, пробуренных в процессе гидрогеологических исследований. На стадии поисковых работ основной целью пробных откачек являются получение сравнительной характеристики фильтрационных свойств и водообильности пласта на отдельных участках распространения водоносного горизонта, ориентировочная оценка качества подземных вод и установление их свободной или пьезометрической поверхности. На стадиях предварительной и детальной разведки пробные откачки производят из всех разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин для предварительного определения их возможной производительности, как правило, на одну ступень понижения уровня, в течение не более 1,5 суток (понижение уровня измеряют от статического уровня подземных вод до сниженного в результате откачки). Ступенью называют величину понижения уровня воды при заданном дебите скважины.

Опытные откачки. Они являются основным видом фильтрационных исследований на стадиях предварительной и детальной разведки. Опытные откачки подразделяются на одиночные (при отсутствии наблюдательных скважин) и кустовые (при их наличии).

Одиночные опытные откачки производят в процессе разведки из разведочных и разведочно-эксплуатационных скважин для определения коэффициента фильтрации и зависимости дебита скважины от понижения уровня: $Q=t(s)$. Их ведут на две ступени понижения уровня при зернистых водоносных горизонтах и на две-три ступени при трещиноватых. Продолжительность откачки определяется временем стабилизации понижения уровня на каждой из ступеней и может составлять 10 и более суток.

Кустовые опытные откачки применяют на стадиях предварительной и детальной разведки для определения расчетных гидрогеологических параметров, изучения и оценки граничных условий пласта и опытного определения понижения уровня. Они обеспечивают более надежное определение гидрогеологических параметров, чем одиночные откачки. Количество наблюдательных скважин, их рас-

положение и продолжительность кустовой откачки определяют в каждом конкретном случае с учетом гидрогеологических особенностей объекта изучения, назначения откачки и других факторов. Если откачка из одной скважины — центральной — не обеспечивает ощутимого понижения уровня в наблюдательных скважинах (из-за высокой водообильности и водопроницаемости изучаемого горизонта), то производят опытную групповую откачку из нескольких скважин, являющуюся разновидностью кустовой откачки. Кустовые откачки выполняют обычно на одну ступень понижения уровня, продолжительность их не менее трех суток.

Опытно-эксплуатационные откачки. Их производят из одной или нескольких скважин только на стадии детальной разведки в сложных гидрогеологических условиях, чтобы определить возможную производительность водозабора или установить закономерности изменения уровней при его эксплуатации, а также возможное изменение состава подземных вод. Откачки ведут в самое неблагоприятное по условиям питания подземных вод время (меженный период) с дебитом, близким к проектному водоотбору, в течение 1—3 месяцев, а иногда и дольше. Их данные принимают за основу при прогнозах условий работы водозаборных и дренажных сооружений.

Методика проведения откачек. Откачки из скважин в зависимости от степени их водообильности и желательной величины понижения уровня воды производят различными водоподъемниками: эрлифтами, центробежными насосами с горизонтальным или вертикальным валом, электропогружными водяными насосами. Для пробных откачек в слабо обводненных водоносных горизонтах можно применять желонирование. Диаметры фильтровых колонн и глубина центральных (опытных) скважин должны обеспечивать размещение в них водоподъемного оборудования, а диаметры наблюдательных скважин — оборудования для замеров уровней и проведение пробных откачек. Минимальные внутренние диаметры разведочных и эксплуатационных скважин для проведения в них необходимого комплекса исследований — 80—100 мм, а наблюдательных — 50—80 мм. Оборудование скважин опытного куста должно обеспечивать замеры и регулирование дебита при откачке (расходомеры, водомеры, счетчики), получение с необходимой частотой информации об уровне воды во всех скважинах, отбор проб воды для анализов, замер ее температуры, отвод откачиваемой воды на необходимое расстояние и пр.

Опытные откачки следует проводить с максимально возможным для выбранного водоподъемника постоянным дебитом (отклонения дебита не должны превышать 10% его среднего значения), обеспечивая понижение уровня в центральных скважинах не менее чем на 3 м, в наблюдательных — 0,3 м. Продолжительность откачек — не менее 2 суток, а при определении коэффициентов уровня непроницаемости, пьезопроводности и перетекания — не менее 5 суток. Откачка грунтовых вод должна быть более длительной, чем напорных.

Опытные скважины должны быть по возможности совершенными, т. е. вскрывать водоносный горизонт полностью, а ближайшие

наблюдательные скважины — находиться на расстоянии, превышающем мощность водоносного пласта. Если скважины не полностью вскрывают водоносный горизонт, то фильтры наблюдательных и опытных скважин следует размещать в опробуемом пласте примерно на одинаковой глубине. Для более точного определения параметров призабойной зоны желательнее устройство затрубного пьезометра; для оценки характера и степени влияния естественных колебаний уровня должны иметься режимные скважины вне зоны влияния откачки. При наличии в подошве и кровле опробуемого

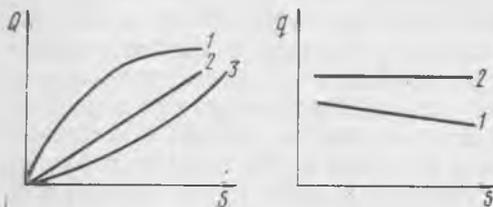


Рис. 44. Графики зависимости дебита Q и удельного дебита q от понижения уровня s :

1 — в грунтовых водах; 2 — в напорных водах; 3 — при дефектной откачке

горизонта слабопроницаемых пород необходимо иметь наблюдательные скважины для выше- и нижележащих водоносных горизонтов.

Изменения уровней в опытной и наблюдательных скважинах регистрируют самописцами типов СУВ-3, ГПП-20, РУЦ-2М и др. либо различными уровнемерами (электрическими, ленточными, поплавковыми), рулетками и хлопущками. Замерять уровень следует: в процессе откачки в первые 2 ч — через каждые 5—10 мин, в следующие 12 ч — через 0,5—1 ч, затем до конца откачки через 2—3 ч; в процессе восстановления уровня после откачки — первые 15—20 мин через каждые 1—2 мин, далее в течение 1—2 ч — через 3—10 мин, затем через 1 ч до получения нужного количества материалов.

Откачки для определения зависимости дебита скважины от понижения уровня $Q=f(s)$ проводят на 2—3 ступени понижения, начиная с меньшего понижения (в трещиноватых породах и мелкозернистых песках, наоборот, с большего). Минимальное понижение должно составлять не менее 1 м, максимальное — превышать его в 2—3 раза и быть близким к предельно допустимому.

Для контроля правильности таких откачек строят график $Q=f(s)$, который имеет обычно криволинейный характер (параболический, степенной, логарифмический), выпуклый в сторону оси дебитов (рис. 44). Для напорных вод этот график может быть и прямолинейным. Выпуклость графика в сторону оси понижений свидетельствует о неправильности выполнения откачки и необходимости ее повторить. Параллельно с графиком $Q=f(s)$ строят график удельного дебита $q=f(s)$, т. е. приходящегося на 1 м понижения уровня. Такой график имеет наклон и выпуклость в сторону оси понижений (см. рис. 44). Графики $Q=f(s)$ и $q=f(s)$ являются важнейшими характеристиками, позволяющими судить о возможной производительности скважин, водообильности и фильтрационных свойствах горизонта.

Для контроля правильности таких откачек строят график $Q=f(s)$, который имеет обычно криволинейный характер (параболический, степенной, логарифмический), выпуклый в сторону оси дебитов (рис. 44). Для напорных вод этот график может быть и прямолинейным. Выпуклость графика в сторону оси понижений свидетельствует о неправильности выполнения откачки и необходимости ее повторить. Параллельно с графиком $Q=f(s)$ строят график удельного дебита $q=f(s)$, т. е. приходящегося на 1 м понижения уровня. Такой график имеет наклон и выпуклость в сторону оси понижений (см. рис. 44). Графики $Q=f(s)$ и $q=f(s)$ являются важнейшими характеристиками, позволяющими судить о возможной производительности скважин, водообильности и фильтрационных свойствах горизонта.

При проведении кустовых откачек для более точного определения

параметров желательно иметь не менее трех наблюдательных скважин, а в сложных гидрогеологических условиях (трещинные и трещинно-карстовые горизонты, наличие перетекания и затрудненная связь подземных вод с поверхностными, существенная неоднородность пород и т. п.) — не менее четырех. По возможности для наблюдений следует использовать все имеющиеся скважины.

Наблюдательные скважины обычно располагают по лучам, ориентированным в направлении выявленных или возможных изменений гидрогеологических условий (по направлениям затухания или преобладания трещиноватости и изменения фильтрационных свойств, вдоль контуров питания и непроницаемых границ и перпендикулярно им и т. д.). В табл. 5 приведены обобщенные рекомендации по размещению первой и второй наблюдательных скважин при кустовых откачках в напорных и безнапорных горизонтах различного литологического состава; ориентировочная продолжительность откачек 3—5 суток в напорных и 5—10 суток в грунтовых водах.

Таблица 5. Рекомендации по размещению наблюдательных скважин при кустовых откачках

Водоносная порода	Гидравлический характер горизонта	Минимальное расстояние до наблюдательной скважины, м	
		первой	второй
Пески мелко- и среднезернистые	Напорные воды	80	150
	Грунтовые воды	10	15
Пески крупнозернистые	Напорные воды	200	450
	Грунтовые воды	15	30
Гравийно-галечниковые отложения	Напорные воды	200	450
	Грунтовые воды	25	40
Трещиноватые породы	Напорные воды	80	150
	Грунтовые воды	30	50

Опробование самоизливающихся скважин возможно при неизменном положении уровня в центральной скважине, но при этом обязательно нужна информация об изменении уровней во времени по наблюдательным скважинам.

В процессе откачек ведут текущую документацию и камеральную обработку данных: заполняют журнал откачки (по установленной форме), составляют хронологические графики зависимости дебитов и понижения уровня в центральной и наблюдательных скважинах от времени, графики зависимости дебита и удельного дебита от понижения уровня и полулогарифмические графики зависимости понижения уровня от времени $s=f(\lg t)$. Построение хронологических графиков и особенно графиков $s=f(\lg t)$ обеспечивает надежный контроль за проведением опыта, показания графиков

служат основой для регулирования частоты и системы наблюдений и для своевременного прекращения откачки.

После окончания откачек во всех скважинах должны быть проведены наблюдения за восстановлением динамического уровня с построением всех необходимых хронологических графиков.

В результате окончательной камеральной обработки материалов откачек с комплексным использованием приемов и методов расчетов установившейся и неуставившейся фильтрации определяют основные гидрогеологические параметры: кривые дебита $Q=f(s)$, коэффициенты фильтрации, проницаемости, водопродимости, пьезопроводности (уровнепроводности), водоотдачи, радиусы влияния, параметры перетекания и др.

§ 29. Опытные наливы и нагнетания в скважины

Общие сведения о наливах и нагнетаниях. Под опытным наливом понимается налив воды в скважину, при котором уровень воды в ней находится в пределах участка опробуемых пород. Если в процессе опыта уровень воды в скважине находится выше верхней границы участка опробуемых пород, то такой опыт называют опытным нагнетанием.

Опытные наливы и нагнетания в скважины проводят для изучения и оценки водопроницаемости обводненных пород в тех случаях, когда откачки затруднены (глубокое залегание подземных вод, слабая водоотдача, невозможность обеспечить ощутимые понижения и т. п.), а также при изучении фильтрационных свойств слабо обводненных и необводненных пород зоны аэрации. Сравнительная простота проведения опытных наливов и нагнетаний в скважины обеспечила их широкое применение, особенно для целей гидротехнического строительства.

Опытные наливы и нагнетания широко применяют также для определения водопроницаемости и удельного водопоглощения трещиноватых скальных пород, выявления необходимости цементации скальных оснований под инженерными сооружениями, выбора противofильтрационных мероприятий, проверки качества цементационных работ и др. Опытные нагнетания являются основным способом оценки водопроницаемости неводоносных трещиноватых скальных и полускальных пород, так как в этих породах можно относительно просто и надежно изолировать опробуемую зону скважины от остальной ее части и сохранить хорошее качество изоляции даже при значительном (более 30 м) напоре. Опытные наливы целесообразно применять в рыхло-связных и трещиноватых породах коры выветривания, относительная проницаемость которых характеризуется высоким удельным водопоглощением и где поэтому трудно обеспечить надежную изоляцию опробуемого участка и избыточный напор для нагнетания.

Обычно при наливах и нагнетаниях не бурят наблюдательных скважин, однако для более надежного определения параметров желательно иметь хотя бы одну скважину для контроля изменений

уровня. Режим фильтрации в процессе опытов может быть установленный, если опыт ведут до тех пор, пока расход и напор не стабилизируются, и неустановившийся, если они не стабилизируются. Это и определяет выбор соответствующих расчетных схем и формул при обработке результатов опытов.

По данным нагнетаний и наливов в скважины определяют условную характеристику водопроницаемости скальных пород — удельное водопоглощение q , под которым понимают количество воды (в л), поглощенное породой в 1 мин на 1 м длины опробуемого участка скважины при напоре, равном 1 м. Для сопоставимости результатов опытные нагнетания ведут обычно поинтервально (стандартный интервал опробования 5 м) при нескольких ступенях напора (чаще всего 5, 10 и 15 м) до стабилизации расхода.

Схемы движения воды при нагнетаниях и при откачках различаются только тем, что в первом случае вода движется от скважины, а во втором — к скважине. Поэтому для определения параметров по результатам нагнетания используют те же расчетные формулы, что и при откачках, лишь заменяя в них понижение уровня повышением. Ориентировочно коэффициент фильтрации k можно определять по величине удельного водопоглощения q с использованием переходного коэффициента α , устанавливаемого для массива изучаемых пород на основе совместного проведения опытных откачек и нагнетаний, т. е. $k = \alpha q$. Обычно коэффициент α имеет значение от десятых долей до нескольких единиц.

Наливы и нагнетания применяют для опробования как обводненных, так и необводненных пород. В первом случае опыты выполняются быстрее и проще, результаты опытных наливов и нагнетаний можно контролировать откачками (при этом обеспечивается возможность обоснованного распространения параметров, установленных при откачках, на участки и зоны, опробованные более дешевыми и быстрыми способами — наливами и нагнетаниями). В необводненных породах проведение опытов усложняется и их продолжительность увеличивается, а результаты практически нельзя контролировать, так как нагнетание в неводоносные трещиноватые породы является пока единственным методом оценки их фильтрационных свойств. Величину напора при опытах в необводненных трещиноватых породах условно отсчитывают от середины испытуемого интервала опробования. Для более тщательной очистки необводненного интервала опробования скважин перед нагнетаниями целесообразна его проходка с обратной промывкой.

Методика проведения наливов и нагнетаний. Применяемое для опытов оборудование должно обеспечивать надежную изоляцию интервала опробования, непрерывную подачу в него в достаточном количестве воды и возможность регулировать и регистрировать расходы и напоры в процессе опыта. Сейчас для нагнетаний широко используют специальную установку, состоящую из распределительного устройства и тампона УТД-1. Применяют также другие тампоны и комплекты (тампоны Ирыкла, ДАУ-3, ПМ-108, ПМ-89, унифицированный комплект для нагнетаний УКН-1М и др.).

Опытные нагнетания обычно проводят по такой схеме. Монтируют систему водоснабжения опытной установки. Собирают распределительное устройство и тампон и выполняют другие подготовительные работы. Замеряют уровень воды в скважине и проверяют ее глубину, после чего в обводненных породах производят прокачку, а в необводненных — промывку, и наблюдают за восстановлением уровня воды. Опускают в скважину тампон и разжимают его на нужной глубине. Подключают тампон к распределительному устройству и проверяют качество изоляции интервала опробования тампоном и работу всей установки путем кратковременного нагнетания. Производят контрольный замер уровня воды в трубах, на которых смонтирован тампон (статический уровень), и приступают к нагнетаниям; их выполняют без перерыва на трех ступенях напора (обычно 15, 10 и 5 м). Нагнетание на каждой ступени продолжают до тех пор, пока в течение 2—3 часов не будет наблюдаться установившийся расход. Если при первой ступени напора расход воды на 1 м испытываемого участка не превышает в течение первых двух часов 0,02 л/мин, то опыт прекращают и считают породы интервала практически водонепроницаемыми.

В процессе опыта в журнале установленной формы регистрируют значения расхода, напора, температуры и другие показатели. По результатам опыта строят график зависимости приведенного расхода Q_0 от напора H . Приведенный расход определяют делением установившегося на каждой ступени расхода Q на длину испытываемого интервала l : $Q_0 = Q/l$. Графики приведенных расходов $Q_0 = f(H)$ служат для контроля правильности опытов и являются основой для определения величины удельного водопоглощения. Аналогично кривым дебита при откачке (см. рис. 44) они могут иметь прямолинейный или криволинейный характер. Получение криволинейного графика $Q_0 = f(H)$, обращенного выпуклостью вниз (к оси напоров), свидетельствует о том, что опыт проведен неправильно и его надо повторить.

Наиболее распространено опробование скважин нагнетаниями по схеме сверху вниз, при которой скважина опробуется последовательно по мере ее углубления, поэтому кольматация ее ствола проявляется в меньшей степени, чем при опробовании по схеме снизу вверх. Скважину разбуривают до первого сверху интервала опробования, промывают, устанавливают на верхней границе интервала тампон и производят нагнетание. Затем тампон извлекают, разбуривают скважину до подошвы следующего интервала опробования, промывают вскрытый участок, устанавливают тампон на его верхней границе, производят нагнетание, и т. д.

Опытные нагнетания по схеме снизу вверх производят после бурения скважины с изоляцией испытываемых интервалов опробования двойными тампонами (практикуется редко) либо с тампонированием опробованного интервала глиной или цементом (практикуется чаще). При опыте по этой схеме скважина после завершения ее проходки должна быть тщательно промыта (что трудно осуществимо) для исключения влияния на его результаты закольмати-

ванности пород буровым шламом и глинистым раствором. Испытаниям подвергаются выделенные с учетом фактического разреза скважины интервалы опробования, начиная с нижнего. Испытуемый интервал изолируют сверху тампоном, опробуют нагнетаниями и после извлечения тампона тампонируют глиной или цементом. Затем изолируют и опробуют следующий интервал, и т. д.

Применяемое в настоящее время оборудование позволяет разжимать тампон в скважине на глубине до 100 м. Для оценки водопроницаемости пород на большой глубине рекомендуется проводить нагнетания в интервалах опробования нарастающей длины. Для этого скважину углубляют каждый раз на 5 или 10 м (т. е. на глубину стандартного интервала опробования) и опробуют вскрытый скважиной разрез пород. Тампон устанавливают при этом на одной и той же максимально доступной глубине; таким образом, интервал, в который осуществляют нагнетание, последовательно увеличивается. Обработка результатов таких нагнетаний позволяет выявлять наиболее проницаемые зоны в разрезе отложений и получать сравнительную характеристику их водопроницаемости. Для этой же цели можно использовать данные наблюдений за поглощением промывочной жидкости при бурении скважин и, если необходимо, останавливать бурение и опробовать нагнетаниями наиболее проницаемые интервалы.

Как уже отмечалось, при обработке результатов наливов и нагнетаний определяют удельное водопоглощение и коэффициенты фильтрации (по величине удельного водопоглощения с использованием переходного коэффициента либо по соответствующим расчетным формулам). Например, коэффициент фильтрации неоднородных равномерно трещиноватых пород по данным наливов в скважины определяют по формуле В. М. Насберга:

$$k = 0,423 \frac{Q}{h^2} \lg \frac{2h}{r},$$

где Q — установившийся расход воды, м³/сут, полученный при наливах в скважину радиусом r с поддержанием в ней постоянной высоты столба воды h , не превышающей длины интервала опробования l . Схема опытного налива воды в скважину по методу В. М. Насберга приведена на рис. 45. Она применима при условии, если T (расстояние от забоя скважины до водоупора) больше или равно h .

Результаты опытных наливов и нагнетаний отображают на специальных сводных листах.

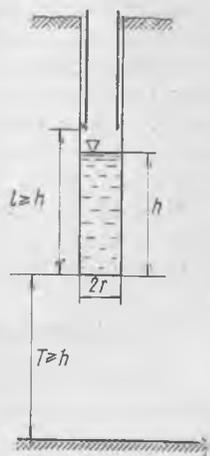


Рис. 45. Схема опытного налива воды в скважину в неоднородных породах по методу В. М. Насберга

В последнее время для изучения фильтрационных свойств необводненных пород в скважины нагнетают не воду, а воздух, и по наблюдательным скважинам следят за его циркуляцией. Применение для нагнетаний воздуха улучшает условия проведения опытов (исключается необходимость учета влияния гравитационных и капиллярных сил, кольтматации трещин и пор, отпадает надобность в воде и т. п.), хотя заметно усложняется их техническая обеспеченность (система замеров количества воздуха и его давления и пр.). Опыты обычно проводят при трех ступенях расхода воздуха и опробуют разрез отложений по схеме сверху вниз или снизу вверх. Воздух нагнетают при помощи комплекта оборудования ОНВ-1, который обеспечивает изоляцию испытуемого интервала опробования (тампонирующее устройство), подачу воздуха в пусковую скважину и управление проведением опыта (блок-пульт или распределительное устройство), а также замер основных параметров в процессе опыта (блок регистрации и разжатия тампонов).

Нагнетание воздуха в скважины — весьма перспективный метод определения фильтрационных параметров необводненных пористых и трещиноватых пород.

§ 30. Опытные наливывы в шурфы

Наиболее распространенным и отработанным методом изучения фильтрационных свойств связных и рыхлых пород зоны аэрации являются опытные наливывы в шурфы, обеспечивающие фильтрационное опробование пород на глубину до 15 м. Сущность их состоит в наблюдении за ходом инфильтрации воды из шурфов и получении характеристик инфильтрационного потока при поддержании постоянного уровня воды в шурфе в процессе опыта.

В условиях инфильтрации воды из шурфов основными действующими силами являются гидростатический напор слоя воды и капиллярное всасывание, совпадающее по направлению с инфильтрационным потоком. Факторами, осложняющими проведение опытной инфильтрации, являются боковое растекание инфильтрационного потока (особенно интенсивное в глинистых и суглинистых породах) и влияние на инфильтрацию заземленного в породах воздуха. Эти факторы частично исключаются или учитываются при проведении опытных наливывов в шурфы. При этом почти все методы определения коэффициента фильтрации по данным инфильтрации воды из шурфов основаны на расчетах по формулам установившейся фильтрации и отличаются простотой. При проведении опытов и обработке их результатов принимается, что породы в зоне инфильтрационного потока фильтрационно однородны. Смыкание инфильтрующей из шурфа воды с грунтовым потоком должно быть исключено, поэтому опыты проводят при глубине залегания подземных вод не менее 3 м.

Воду наливают через зумпф круглого сечения глубиной около 0,2 м, вырытый в дне шурфа. После закрепления стенок зумпфа дно его тщательно выравнивают и покрывают защитным слоем из

мелкого чистого гравия толщиной 3—5 см. Опыт ведут при постоянной высоте столба воды в зумпфе $H_0 = 10$ см, который поддерживают путем поступления воды из мерного бака через автоматические регуляторы (сосуды Мариотта или др.). Расход воды проверяют и регистрируют в журнале каждые 10—30 мин (чем больше расход, тем чаще делают замеры). Опыт обычно продолжают до стабилизации расхода. Считается, что расход установился, если в течение двух часов он не отклоняется от среднего за это время более чем на 10%. В зависимости от литологического состава опробуемых пород и применяемого оборудования наливывы в шурфы выполняют способами А. К. Болдырева, Н. С. Нестерова или Н. К. Гириного.

Способ А. К. Болдырева. В испытываемой породе до заданной глубины роют шурф сечением $1 \times 1,5$ м, в дне которого устраивают зумпф круглого сечения диаметром 0,5 и глубиной 0,15—0,20 м. В песчаных породах стенки зумпфа закрепляют кольцом, которое вдавливают в дно зумпфа на 5—6 см. Воду подают в зумпф из мерного бака по гибкой трубке. Чтобы струя воды не размывала дно зумпфа, его покрывают слоем гравия толщиной 3—5 см. Интенсивность подачи воды должна быть такой, чтобы высота столба воды в зумпфе поддерживалась постоянной и равной 10 см. Высоту столба контролируют по рейке (допустимы отклонения не более 1 см). Расход воды фиксируют по водомерной трубке мерного бака каждые 10—15 мин. В процессе опыта строят график зависимости расхода от времени. Опыт продолжают до стабилизации расхода. Схема опыта по способу А. К. Болдырева приведена на рис. 46.

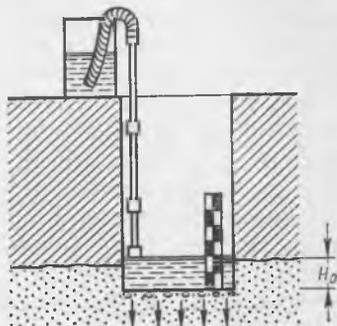


Рис. 46. Схема опытной инфильтрации воды из шурфа по способу А. К. Болдырева

Значение коэффициента фильтрации K определяется как установившаяся скорость инфильтрации v при напорном градиенте, равном единице (в условиях опыта $I \approx 1$): $k = v = Q/F$, где F — площадь поперечного сечения зумпфа, через которую осуществляется инфильтрация воды из шурфа с расходом Q .

При таком способе определения коэффициента фильтрации не учитываются действие капиллярных сил и боковое растекание потока. Поэтому наливывы в шурфы по способу Болдырева целесообразно применять при опробовании хорошо проницаемых пород — крупнозернистых песков, гравийно-галечниковых отложений, трещиноватых пород.

Способ Н. С. Нестерова. При наливках в шурф по способу Нестерова для уменьшения влияния капиллярных сил и бокового растекания на дне шурфа устанавливают концентрично два цилиндриче-

ских кольца диаметром 25 и 50 см и высотой 20—25 см. В процессе опыта воду при помощи сосудов Мариотта подают в оба кольца, поддерживая в них постоянный столб воды $H_0=10$ см. При этом предполагается, что вода из кольцевого зазора между внутренним и внешним цилиндрами расходуется преимущественно на боковое растекание, в то время как через площадь F внутреннего кольца она расходуется на инфильтрацию в вертикальном направлении. В журнале наливов фиксируют лишь расход воды через внутреннее кольцо до его стабилизации. Коэффициент фильтрации определяют по формуле $k=Ql/F(H_0+h_k+l)$, где h_k — капиллярное давление, принимаемое равным 50% высоты капиллярного поднятия в испытуемых породах; l — глубина инфильтрационного просачивания воды под дном шурфа (определяется после окончания опыта путем бурения двух скважин в центре шурфа и в 3—4 м от него — по влажности вскрываемых в них пород).

Способ Нестерова применим для опробования любых пород, однако наиболее целесообразно его использовать для песчаных и глинистых пород (песков, супесей, суглинков, лёссов и др.).

Способ Н. К. Гиринского. Его применяют для определения водопроницаемости мелкозернистых песков, супесей и суглинков. Технически он производится, как и налив по способу Болдырева, — через цилиндр диаметром от 30 до 50 см при постоянном уровне и до стабилизации расхода. Теоретически способ Гиринского более обоснован и точен, так как при обработке результатов опыта учитываются боковое растекание инфильтрационного потока, влияние капиллярных сил и заземленного воздуха (после опыта берут из-под цилиндра пробы пород для определения их пористости и объемной влажности и учета на этой основе влияния заземленного воздуха и бокового растекания путем введения в расчетную формулу поправочных коэффициентов).

§ 31. Определение направления и скорости движения подземных вод

Для решения многих теоретических и практических задач, связанных с выявлением условий формирования и разрушения месторождений полезных ископаемых, миграцией в воде различных химических и биологических компонентов, с прогнозом распространения загрязнений, устойчивости откосов карьеров, оснований плотин и других инженерных сооружений, необходимо определять направление и скорость движения подземных вод. Эти важные параметры потоков подземных вод определяют гидрогеологическими и геофизическими методами, причем обычно совместно.

Гидрогеологические методы определения направления движения подземных вод. Направление движения подземных вод легче всего установить по картам гидроизогипс (либо гидроизопьез) для изучаемых водоносных горизонтов. По таким картам направление движения подземных вод определяется линиями токов, проведенными

перпендикулярно к гидроизогипсам (либо гидроизопьезам) по уклону потока, т. е. от гидроизогипсы с большей отметкой к гидроизогипсе с меньшей отметкой.

При отсутствии карт, отражающих положение свободной или пьезометрической поверхности подземных вод, для определения направления их движения необходимо иметь не менее трех выработок с отметками уровня подземных вод в одно и то же время. Выработки желательно располагать по углам равностороннего треугольника с длиной стороны от 50 до 300 м (чем меньше уклон потока, тем больше должно быть расстояние между выработками). По известным или установленным в трех (или более) точках отметкам уровня проводят с учетом интерполяции несколько гидроизогипс (либо гидроизопьез) и определяют направление движения по перпендикуляру к ним в сторону убывания отметок (рис. 47).

Геофизические методы определения направления и скорости движения подземных вод. При отсутствии карт гидроизогипс (либо гидроизопьез) и достоверных данных об уровне подземных вод направление их движения устанавливают при помощи геофизических методов.

Направление движения подземных вод устанавливают *методом запуска красителя* с периодическим фотографированием в скважине его конуса выноса. Краситель опускают в скважину в специальной капсуле. Фотографирование ведут при помощи аппаратуры на фоне стрелки магнитного или гирскопического указателя (за один спуск до 50 снимков). Для получения надежных результатов достаточно 4—5 снимков. Этот метод применим при скоростях фильтрации не менее 0,5 м/сут. По скорости размывания конуса выноса красителя можно ориентировочно определять и скорость движения подземных вод. Для водоносных горизонтов, сложенных породами с редкой и неравномерной трещиноватостью, этот метод применять не рекомендуется.

Индикаторный метод. Как говорилось выше, действительную скорость движения подземных вод v_d можно определить, зная скорость фильтрации v и активную пористость пород n_a , так как $v_d=v/n_a$. Скорость фильтрации $v=kJ$ вычисляют с использованием коэффициента фильтрации водоносных пород k и напорного градиента J (определяется по карте гидроизогипс или гидроизопьез). Однако более надежные результаты дает индикаторный ме-

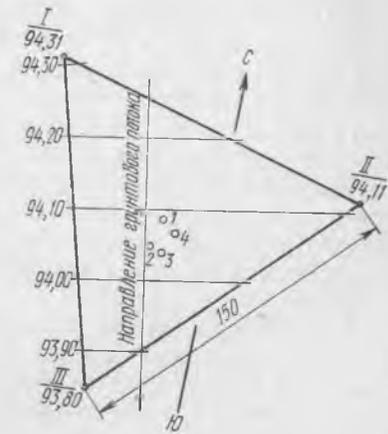


Рис. 47. Схема расположения скважин для определения направления и скорости движения грунтовых вод:

I, II, III — скважины для определения направления движения (в знаменателе — абсолютная отметка уровня воды); I — центральная; 2, 3, 4 — наблюдательные скважины для определения скорости движения

тод определения действительной скорости движения подземных вод.

Индикаторный метод основан на введении в испытуемый горизонт через пусковые скважины каких-либо индикаторов и определении скорости их передвижения в условиях подземного потока по времени появления в наблюдательных скважинах. Индикаторы должны быть безвредными, устойчивыми и легко обнаруживаться в подземных водах. Наиболее часто в качестве индикаторов применяют красители (флюоресцеин, родамин-В, уранин, эритрозин и др.), электролиты (поваренная соль, хлористый аммоний, соли лития и др.) и радиоактивные соединения (содержащие J^{131} , $Bг^{82}$, H^3 , CO^{60} , Cr^{51} и др.). Когда в качестве индикаторов применяют радиоактивные изотопы, метод изучения движения подземных вод называют радиоиндикаторным.

Перед проведением опыта участок должен быть хорошо изучен в гидрогеологическом отношении. В пусковых и наблюдательных скважинах при помощи геофизических исследований, лабораторных работ и поинтервального опробования должны быть выделены, соответствующим образом изучены, а при послонном опробовании изолированы пласты, горизонты или интервалы, подлежащие исследованию.

Если передвижение индикатора прослеживают при помощи наблюдательных скважин, то они должны быть заложены ниже по потоку на расстоянии от пусковой скважины 0,5—2 м в суглинистых и супесчаных породах, 2—8 в песчаных зернистых, 5—15 в гравийно-галечных и хорошо проницаемых трещиноватых и 15—50 м и более — в закарстованных породах (см. рис. 47). Наблюдательных скважин может быть от одной до трех, расстояние между ними — от 0,5 до 2 м.

Определять направление и скорость движения подземных вод можно и без наблюдательных скважин (односкважинные методы), используя данные наблюдений за изменением концентрации индикатора во времени или за его распространением непосредственно в пусковой скважине (фотографирование конусов распространения красителей, термометрические и радиоиндикаторные замеры и т. д.).

Появление индикатора в наблюдательных скважинах устанавливают химическим, электрическим и колориметрическим способами; первые два дают более надежные результаты. При химическом способе появление индикатора фиксируют по изменению его концентрации в пробах воды, периодически отбираемых из наблюдательных скважин. Для того чтобы более точно установить время появления индикатора в наблюдательной скважине, изменение его концентрации в пробах воды изображают в виде графика. Время прохождения индикатора от пусковой до наблюдательной скважины $t_{\text{макс}}$ исчисляют от момента его запуска в пусковой скважине до момента, когда его концентрация в наблюдательной скважине окажется максимальной (рис. 48). Действительную скорость движения подземных вод определяют как частное от деления пройденного

индикатором расстояния l на время его прохождения от пусковой до наблюдательной скважины $t_{\text{макс}}$.

Аналогичным образом определяют действительную скорость движения подземных вод при электролитическом и колориметрическом способах обнаружения индикатора. В первом случае время появления индикатора в наблюдательной скважине фиксируют по максимальной величине силы электрического тока в цепи, замкнутой через скважину (максимальной силой тока будет в момент прохождения индикатора-электролита через наблюдательную скважину), во втором — по максимальной интенсивности окраски отбираемых проб воды (ее оценивают при помощи флюороскопа). При использовании любого метода для более точного определения времени появления индикатора в наблюдательной скважине необходимо строить графики изменения наблюдаемого показателя (силы тока или концентрации красителя), аналогичные приведенному на рис. 48.

При радиоиндикаторном методе определения направления и скорости движения подземных вод перемещение помеченных радиоактивными изотопами порций воды контролируют, измеряя при помощи специальных приборов интенсивность радиоактивного излучения и концентрацию индикаторов. В методическом отношении радиоиндикаторный метод аналогичен индикаторному. Благодаря возможности использовать радиоактивные индикаторы низких концентраций, их сравнительно большой сорбционной способности и высокой точности определения радиоиндикаторные методы являются перспективными не только для определения направления и скорости движения подземных вод, но и для решения многих других гидрогеологических задач. Особенно эффективен односкважинный радиоиндикаторный метод, заключающийся в наблюдении за изменением во времени концентрации введенного в скважину радиоактивного индикатора. Эти замеры и эпюры распределения его активности, получаемые при помощи опускаемого в скважину зонда, позволяют определять расход, скорость и направление движения потока подземных вод.

Индикаторный и радиоиндикаторный методы используют для определения скорости движения подземных вод как в естественных условиях, так и в условиях воздействия различных инженерных сооружений и мероприятий (при откачках воды из скважин, исследовании движения подземных вод в районах гидротехнического строительства, при захоронении сточных вод, а также в других случаях.

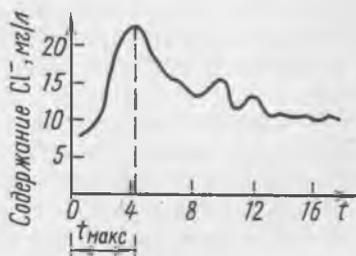


Рис. 48. График изменения концентрации индикатора в наблюдательной скважине в зависимости от времени

§ 32. Стационарные гидрогеологические наблюдения

Стационарные гидрогеологические наблюдения и исследования проводятся для изучения режима и баланса подземных вод, что крайне важно при решении любых гидрогеологических задач, связанных с изучением, оценкой, использованием и регулированием подземных вод.

Задачи изучения режима и баланса подземных вод. Под *режимом подземных вод* понимаются изменения их ресурсов, состава и свойств (включая уровни, расходы, скорости, температуру, химический, газовый и бактериологический состав), происходящие в пространстве и во времени и отражающие процесс формирования подземных вод. Выявление основных закономерностей таких изменений и составляет главную задачу режимных гидрогеологических наблюдений.

Режим подземных вод в зависимости от характера определяющих его явлений и факторов может быть *естественным* (формируется под влиянием комплекса естественных факторов — геологических, климатических, гидрогеологических, биолого-почвенных, космогенных и др.), *нарушенным* (определяется главным образом инженерно-хозяйственной деятельностью человека) и *смешанным*, формирующимся под влиянием комплексного воздействия естественных и искусственных факторов.

Естественный и смешанный режимы подземных вод имеются на большей части территории СССР. Нарушенный режим наблюдается на локальных участках, там, где решающим фактором в создании режима подземных вод является инженерная деятельность человека (орошение, осушение, гидротехническое строительство, действие водозаборных и дренажных сооружений и т. п.). Поэтому исследования режима подземных вод подразделяют на *региональные*, цель которых — выявление общих для значительных территорий закономерностей формирования режима подземных вод (главным образом под действием естественных режимобразующих факторов), и *локальные*, направленные на изучение особенностей режима подземных вод, формирующегося под влиянием местных факторов (литологических особенностей пород, гидрологического режима рек и водоемов, дренированности территории и инженерной деятельности человека).

Изучение режима подземных вод позволяет определять: 1) необходимые для прогнозов режима связи и зависимости элементов режима от природных и искусственных факторов или их совокупности; 2) отдельные элементы водного баланса, используемые при обосновании водохозяйственных мероприятий и в расчетах водных балансов; 3) характер и степень влияния инженерной деятельности человека на подземные воды и связанные с изменением их режима явления и процессы (для обоснования наиболее рациональных путей управления режимом подземных вод, их использования, охраны и регулирования).

Под балансом подземных вод понимают соотношение между их поступлением (приходная часть) и расходом (расходная часть) в количественном выражении (в мм или м³/га) на той или иной площади за определенный период.

Режим и баланс подземных вод тесно взаимосвязаны. Водный баланс, определяемый влиянием естественных факторов (осадки, испарение, транспирация, конденсация, поверхностный и подземный сток) и искусственных (орошение, потери воды из каналов и систем водоснабжения, подпор, дренаж, агромерелиоративные мероприятия др.), предопределяет направленность и характер режима подземных вод. Поэтому изучение элементов водного баланса и выявление основных его факторов создает основу для управления режимом подземных вод. В свою очередь, анализ режима подземных вод позволяет количественно определять элементы водного баланса (инфильтрацию, испарение, подземный сток) и дает возможность составлять точные водно-балансовые расчеты.

Задачи изучения режима и баланса подземных вод чрезвычайно многообразны. Без знания условий формирования подземных вод, их режима и баланса невозможно эффективное и научно обоснованное решение ни одной гидрогеологической задачи. Только стационарные гидрогеологические исследования режима и баланса подземных вод позволяют дать количественную характеристику процессов их формирования, выявить основные закономерности пространственно-временного изменения их количества, качества и свойств и применить эти закономерности для наиболее рационального использования и охраны подземных вод, выработки мероприятий по борьбе с их вредным воздействием и способов управления их режимом. Данные режимных наблюдений являются основой для гидрогеологического обоснования и инженерных прогнозов всех видов инженерной деятельности, связанных с использованием и регулированием подземных вод (водоснабжения, орошения, осушения, дренажа, гидротехнического строительства, разработки месторождений полезных ископаемых и т. д.).

В нашей стране действует государственная опорная сеть наблюдательных пунктов, уже сейчас включающая около 100 режимных станций и свыше 25 тысяч наблюдательных пунктов. В ближайшем будущем количество наблюдательных пунктов намечено довести до 35—40 тысяч, в результате чего будет обеспечена разветвленная информационная база службы регулярных прогнозов режима грунтовых вод. Кроме того, режимные наблюдения осуществляют многие ведомства и организации на массивах орошения и осушения, в пределах эксплуатируемых месторождений минеральных вод, твердых полезных ископаемых, нефти, газа, на действующих водозаборных и гидротехнических сооружениях и т. д. По мере роста гидрогеологической изученности территории СССР, дальнейшего развития сети режимных наблюдений и совершенствования методов обработки и использования исходной информации значение стационарных гидрогеологических исследований будет постоянно возрастать, и они станут одним из главных видов полевых гидрогеологи-

ческих исследований, обосновывающих решение разнообразных народнохозяйственных задач.

Методы изучения режима и баланса. Изучение региональных закономерностей режима грунтовых вод должно охватывать первые от поверхности водоносные горизонты и проводиться во всех районах, где эти горизонты представляют интерес для народного хозяйства сейчас или могут представлять в будущем. В результате таких исследований должны быть изучены основные факторы режима, ход сезонных и многолетних колебаний уровня, состава и температуры подземных вод, амплитуды сезонных и многолетних колебаний уровня и т. д.

При размещении наблюдательной сети целесообразно использовать крупномасштабные гидрогеологические карты изучаемых районов с учетом изученности режима грунтовых вод. Наблюдательные пункты должны быть размещены в различных по геоморфологическим условиям районах, в отложениях различного возраста, состава и водоносности. Изучение режима должно охватывать области питания, движения и разгрузки подземных вод. Обычно наблюдательные пункты размещают по створам (линиям), ориентированным в направлении движения грунтовых вод. В речных долинах створы ориентируют перпендикулярно к реке. Там, где грунтовые и напорные воды взаимосвязаны, а также при наличии гидрохимической зональности грунтовых вод, целесообразно установить пьезометры и пробурить скважины различной глубины. Наблюдения за режимом должны быть комплексными, т. е. включать изучение изменений уровня, температуры, химического состава грунтовых вод, а в засушливых районах — и солевого состава почв и пород зоны аэрации. Частоту наблюдений при региональных исследованиях режима устанавливают в соответствии с действующими методическими руководствами.

Изучение нарушенного режима подземных вод имеет исключительно важное значение при решении всех практических задач, связанных с использованием подземных вод или их регулированием. Особенно важна оценка роли и характера влияния искусственных факторов, учет которых при изучении и прогнозах режима столь же необходим, как и учет природных факторов. Обычно параллельно с нарушенным изучают и ненарушенный режим подземных вод района исследований.

Режимные наблюдения за изменением уровня, температуры и состава подземных вод целесообразно вести на специально оборудованных для этого скважинах (рис. 49) и источниках. Наблюдательные скважины могут быть пробурены любым способом, однако при бурении их с глинистым раствором они должны быть тщательно очищены и промыты путем прокачек и откачек. Конструкция наблюдательной скважины должна обеспечивать надежную изоляцию изучаемого горизонта от влияния других объектов и от попадания в нее атмосферных осадков и поверхностных загрязнений, производство замеров уровня и температуры воды, отбор проб воды на анализы, возможность чистки и ремонта скважины и т. д.

Площадка вокруг скважины должна быть зацементирована или покрыта утрамбованной глиной, скважина должна быть обсажена трубами и оборудована фильтром с таким расчетом, чтобы он не осушался даже при самом низком положении уровня подземных вод. Устье скважины и верх обсадной трубы должны быть проинвентаризованы, выкрашены и промаркированы. Все данные наблюдений следует заносить в паспорт скважины.

Принципы размещения наблюдательной сети и методику проведения режимных наблюдений устанавливают в каждом конкретном случае с учетом природных особенностей района, возможной степени влияния различных режимобразующих факторов и задач планируемых наблюдений. В общем случае размещение наблюдательной сети должно обеспечивать изучение всех выявленных в районе видов и разновидностей режима подземных вод, учет характера и влияния основных режимобразующих факторов, получение необходимой гидрогеологической информации.

Частота наблюдений за уровнем подземных вод должна обеспечивать выявление основных закономерностей его изменения с учетом поставленных задач. Например, если данные режимных наблюдений нужны для определения гидрогеологических параметров, то следует иметь непрерывную запись изменения уровня (применять самописцы), а если они нужны для общей характеристики режима уровня, то достаточно проводить замеры не чаще десяти раз в месяц. На участках с влиянием рек и других водоемов в периоды паводков и интенсивного выпадения осадков замеры следует выполнять ежедневно, в одно и то же время суток и с точностью ± 1 см.

Наблюдения за изменением температуры воды необходимо вести по всем режимным скважинам на определенных глубинах с частотой, определяемой целевым назначением наблюдений.

Состав и методика наблюдений за качеством и составом подземных вод зависят от их цели. Основным типом химических анализов является сокращенный анализ. Полный анализ выполняют раз в один-два года. При специальных исследованиях, если их цель — выявление закономерностей изменения химического состава вод в разрезе в результате продвижения границы некондиционных вод, целесообразно иметь несколько скважин с расположенными ярусами фильтрами. Состав анализов в этом случае может быть ограничен определением тех компонентов или показателей, которые могут

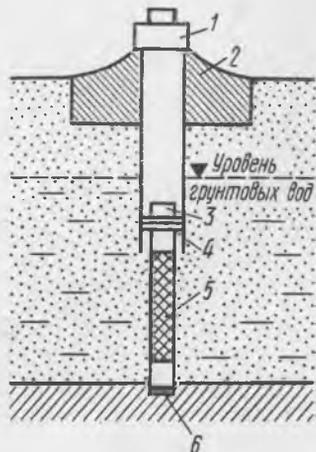


Рис. 49. Конструкция наблюдательной скважины: 1 — крышка; 2 — бетонная площадка или утрамбованная глина; 3 — муфта; 4 — сальник; 5 — фильтр; 6 — пробка

измениться при продвижении границы некондиционных вод. Частота отбора проб воды для анализов зависит от цели исследований, но всегда увеличивается при активизации действия факторов, изменяющих состав подземных вод (паводки, поливы при орошении, интенсификация водоотбора, дренаж и др.). При изучении взаимосвязи подземных вод с поверхностными производят синхронные отборы их проб на анализ.

Баланс подземных вод изучают на основе анализа их режима (аналитические методы), а также экспериментально, с постановкой специальных лизиметрических и воднобалансовых исследований на типичных по гидрогеологическим условиям балансовых участках. В последнем случае элементы водного баланса (инфильтрационное питание, испарение, транспирация, приток и отток подземных вод и др.) определяют экспериментально при помощи различных приборов и специальных установок и используют в дальнейшем для различных воднобалансовых расчетов и прогнозов режима и баланса подземных вод изучаемых районов.

Контрольные вопросы

1. Какие методы определения гидрогеологических параметров вы знаете?
2. Каковы основные виды опытно-фильтрационных работ?
3. Какие виды откачек вы знаете? Кратко охарактеризуйте их.
4. Какие наблюдения ведутся при откачках и как?
5. Какие требования учитываются при обосновании конструкций центральной и наблюдательных скважин куста и их размещении?
6. В каких условиях целесообразно проводить наливов и нагнетания в скважины?
7. Что такое удельное водопоглощение и как оно связано с фильтрационными свойствами горных пород?
8. Какие схемы опробования скважин нагнетаниями вам известны?
9. В чем сущность опытов по инфильтрации из шурфов?
10. Как проводится инфильтрация из шурфа по способу А. К. Болдырева?
11. Как определяют направление движения подземных вод?
12. Как определяют действительную скорость движения подземных вод индикаторным методом?
13. Что такое режим подземных вод и от каких факторов он зависит?
14. Какие требования предъявляются к конструкциям наблюдательных скважин режимной сети?

Литература к разделу II

- Биндеман Н. Н., Язвин Л. С. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1970.
- Дубровский В. В. и др. Справочник по бурению и оборудованию скважин на воду. М., «Недра», 1972.
- Кац Д. М. Гидрогеология. М., «Колос», 1969.
- Климентов П. П., Богданов Г. Я. Общая гидрогеология. «Недра», 1977.
- Овчинников А. М. Общая гидрогеология. М., Госгеолтехиздат, 1955.
- Опытно-фильтрационные работы. Под ред. В. М. Шестакова и Д. Н. Башкова. М., «Недра», 1974.
- Седенко М. В. Гидрогеология и инженерная геология. Изд. 2-е. М., «Недра», 1971.
- Справочное руководство гидрогеолога. Под ред. В. М. Максимова. Изд. 2-е.— М., «Недра», 1967.
- Толстой М. П., Малыгин В. А. Основы геологии и гидрогеологии. М., «Недра», 1976.

Инженерная геология изучает широкий круг геологических вопросов, связанных с оценкой природных условий строительства различных сооружений, производства горных работ при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых и с прогнозом тех явлений, которые могут возникнуть под воздействием сооружений и горных работ. Основной практической задачей инженерной геологии является, таким образом, изучение и оценка инженерно-геологических условий района строительства, прогноз их возможных изменений при инженерной деятельности человека и разработка мероприятий, обеспечивающих благоприятные условия для строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Роль и задачи инженерной геологии были рассмотрены во «Введении».

ГЛАВА 11

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Объектом изучения инженерной геологии являются *грунты* — почвы и горные породы, изучаемые как основания фундаментов различных инженерных сооружений, как среда, в которой строятся каналы, котлованы, тоннели, карьеры, выемки и другие сооружения, и как строительный материал для возведения насыпей, дамб, плотин и других инженерных объектов. Основными задачами всех выполняемых исследований являются изучение и оценка инженерно-геологических свойств горных пород (физических, механических, водных, коллоидно-химических и др.), т. е. тех свойств, которые определяют поведение горных пород при использовании их в качестве объектов инженерно-строительной деятельности. В отдельных случаях для строительства и эксплуатации инженерных сооружений может потребоваться искусственное улучшение инженерно-геологических свойств грунтов (инженерная мелиорация).

§ 33. Инженерно-геологические классификации горных пород

Для изучения горных пород как грунтов важное научное и практическое значение имеет их общая инженерно-геологическая классификация, т. е. разделение на классы по общности их инженерно-

геологических свойств, определяющей методы изучения и оценки каждого класса в инженерно-строительных целях.

Существует несколько общих классификаций грунтов. Наиболее распространена общая инженерно-геологическая классификация, разработанная группой ученых и принятая в 1957 г. Совещанием по инженерно-геологическим свойствам горных пород. Согласно этой классификации все горные породы и почвы разделены по жесткости (прочности) связей между их минеральными частицами на два больших класса: *породы с жесткими связями* и *породы без жестких связей*. Показателями для инженерно-геологической оценки пород с жесткими кристаллическими связями являются механическая прочность, крепость и стойкость, а для пород без жестких связей — степень их сжимаемости, консистенция, фильтрационные свойства и сопротивление сдвигу. Внутри каждого класса по генетическому признаку выделены группы, по петрографическому — подгруппы, по другим признакам — типы, подтипы, виды и разновидности, характеризующиеся соответствующими инженерно-геологическими показателями.

В класс пород с жесткими связями входят породы твердые, прочные, или, как их принято называть в строительной практике, скальные и полускальные. Под действием внешних нагрузок от инженерных сооружений они ведут себя как твердые, упругие, практически несжимаемые тела. Нарушенные между минеральными частицами жесткие связи не восстанавливаются. Не подверженные выветриванию скальные и полускальные породы способны выдерживать нагрузки от любых инженерных сооружений. При изучении пород с жесткими связями важно оценить степень, в которой они подвергались выветриванию, трещиноватость, морозоустойчивость и фильтрационные свойства, что в значительной мере определяет их инженерно-строительные свойства и надежность как грунтов. Класс пород с жесткими связями включает группы магматических (интрузивных и эффузивных), метаморфических (гнейсы, сланцы, кварциты и др.) и осадочных сцементированных горных пород (конгломераты, туфы, брекчии, известняки, песчаники, мергели, аргиллиты и др.).

Класс пород без жестких связей объединяет несколько групп пород и почв со сложными по своей природе связями между минеральными частицами (мягкие, пластичные, вязные породы) или с полным отсутствием связей (сыпучие породы). Для пород этого класса характерна большая изменчивость свойств в зависимости от их состава, влажности, плотности и нарушенности естественного сложения. К ним относятся группы осадочных несцементированных пород (глинистые, песчаные и крупнообломочные отложения), почвы (тундровые, болотистые, подзолистые, черноземные и др.) и искусственные грунты (культурные слои, насыпные, наносные и искусственно измененные грунты).

Наибольший интерес в инженерно-строительном отношении представляют породы без жестких связей как имеющие практически повсеместное распространение. Важной особенностью пород

этого класса является то, что они представляют собой трехфазную систему, включающую вещества в твердой фазе (минеральные частицы и зерна пород), жидкой (поровые растворы и подземные воды) и газообразной (газы и воздух), от соотношения которых могут зависеть инженерно-геологические свойства пород. Вещества в жидкой и газообразной фазах заполняют поровые промежутки и пустоты между минеральными частицами пород и могут изменяться, вызывая изменение свойств пород, особенно глинистых и пылеватых. Так, в сухом состоянии глинистые и пылеватые породы представляют собой твердые тела, обладающие довольно большой механической прочностью; при значительном увлажнении их механическая прочность резко снижается, они становятся мягкими, пластичными, а при очень большом увлажнении могут переходить в текучее состояние. На инженерно-геологические же свойства несцементированных обломочных пород (песчаных, гравелистых, галечниковых) значительно больше влияют размеры и состав обломочного материала и заполнителя, плотность естественного сложения и другие показатели.

Итак, инженерно-геологические свойства почв как грунтов зависят от их состава, структуры, строения, степени увлажнения и величины органической составляющей.

Помимо рассмотренной выше общей инженерно-геологической классификации горных пород широко применяют различные специальные, отраслевые и региональные классификации, в известной мере дополняющие и развивающие общую классификацию. В частности, в специальных классификациях грунты подразделяются по какому-либо одному признаку: гранулометрическому составу, плотности, пластичности, водопроницаемости, степени сжимаемости и пр. В отраслевых классификациях подразделение пород производится применительно к решению отдельных специальных задач (например, для гидротехнического, дорожного или мелиоративного строительства, горного и геологоразведочного дела и т. д.). Примерами специальных классификаций являются классификация горных пород по коэффициенту крепости (по М. М. Протодяконову), по фильтрационным свойствам, по разрабатываемости и др. Региональные классификации применяют для типизации пород какого-либо определенного региона; они основаны на возрастных и генетических подразделениях грунтов и их местных особенностях.

При изучении горных пород для инженерно-строительных целей и оценке их как оснований, среды или строительного материала для возведения инженерных сооружений определяют показатели, характеризующие их состав, состояние и физико-механические свойства. Эти показатели и методы их определения различны и зависят от характера проектируемых инженерных сооружений, возможного их воздействия на грунты, стадии проектирования, типа изучаемых пород и других факторов. В общем случае изучают гранулометрический и минеральный состав пород, их плотность, сложение, структурные и текстурные особенности, прочность, степень влажности, фильтрационные свойства, сопротивление сдвигу.

Минеральный состав, а также структурные и текстурные особенности (см. стр. 158) особенно важно учитывать при изучении пород без жестких связей (песчаных и глинистых); для грунтов с жесткими связями их влияние на инженерно-геологические свойства менее существенно. В частности, знать минеральный состав пород необходимо для инженерно-геологической оценки процессов их выветривания, растворимости, выщелачивания и пр. Минеральный состав глинистых пород влияет на их водопроницаемость, набухаемость, физико-механические и другие свойства. Так, примеси органических соединений, часто встречающиеся в почвах и глинистых породах, изменяют свойства грунтов, определяя их высокую влагоемкость, пластичность и сжимаемость и уменьшая их фильтрационные свойства и сопротивление сдвигу.

В основном инженерно-геологические свойства горных пород как грунтов зависят от их состава и физико-механических свойств, основные показатели которых рассмотрены ниже.

§ 34. Физические свойства горных пород

Физические свойства горных пород формируются под влиянием сложной совокупности геологических процессов (петрогенеза), включающей образование горных пород (применительно к осадочным породам — осадконакопление) и все процессы дальнейшего их изменения и преобразования: метаморфизм, диагенез, выветривание, физико-химические изменения и т. д.

Основными показателями физических свойств горных пород являются гранулометрический состав, плотность и объемная масса, влажность и пористость, пластичность и консистенция, липкость, набухание и усадка, размокаемость и морозоустойчивость.

Гранулометрический состав. Он является важнейшим фактором, определяющим многие инженерно-геологические свойства пород без жестких связей. От него зависят такие важные характеристики горных пород, как пористость, пластичность, сопротивление сдвигу, сжимаемость, усадка, набухание, высота капиллярного поднятия, фильтрационные свойства и др. Знание гранулометрического состава необходимо для классификации рыхлых пород, ориентировочного определения степени их водопроницаемости, возможности их вымывания в откосах выемок и насыпей, для оценки грунтов как материалов для приготовления бетона, отсыпки насыпей, балластного слоя, фильтрационных обсыпок и решения других практических задач.

Гранулометрический состав, т. е. процентное содержание в породе частиц различного размера, определяют путем специальных лабораторных исследований (ситовой анализ, двойное отмучивание, пипеточный анализ и др.). Результаты гранулометрических анализов фиксируют в виде циклограмм, диаграмм-треугольников и кривых гранулометрического анализа. Наибольшее распространение получили кривые гранулометрического анализа. Их составляют обычно в полулогарифмическом масштабе. По оси

абсцисс (рис. 50) откладывают логарифмы диаметров частиц, по оси ординат — суммарное содержание фракций в процентах нарастающим итогом.

По суммарной кривой гранулометрического состава легко найти действующий диаметр d_e и диаметр шестидесяти d_{60} . Под действующим диаметром d_e какой-либо зернистой породы понимают размер частиц, соответствующий ординате 10% на суммарной кривой гранулометрического состава (таким образом, $d_e = d_{10}$). Эту условную величину используют, например, при определении коэффициента фильтрации по данным гранулометрического состава.

Диаметр шестидесяти d_{60} находят, как диаметр частиц, соответствующий ординате 60% на суммарной кривой гранулометрического состава (см. рис. 50). По соотношению d_{60}/d_{10} судят об однородности грунта по гранулометрическому составу. Чем больше коэффициент неоднородности $k_n = d_{60}/d_{10}$, тем более разнородна порода по гранулометрическому составу. При $k_n > 3$ грунт считается неоднородным. У неоднородных грунтов кривая гранулометрического состава пологая, у однородных — кривая.

На использовании данных гранулометрического состава основана классификация крупнообломочных и песчаных пород для строительных целей, по которой выделяются грунты крупнообломочные (щебнистые, галечные, дресвяные, гравийные) и песчаные (пески гравелистые, крупные, средней крупности, мелкие, пылеватые).

Плотность и объемная масса. Плотностью грунта γ называется отношение массы абсолютно сухого грунта к общему объему его твердой части (или к массе воды в объеме твердых частиц). Плотность используется для определения некоторых расчетных показателей (пористости, объемной массы, коэффициента влажности и др.) и является, таким образом, косвенным расчетным показателем. Плотность определяют обычно при помощи пикнометра и аналитических весов или берут из справочных таблиц. Ее средняя величина для песчаных грунтов — 2,65, для суглинистых — 2,7, для глинистых — 2,75 г/см³.

Объемная масса грунта γ_0 — это масса единицы объема грунта при естественной его пористости и влажности. Измеряется она в г/см³. Объемная масса характеризует относительную плотность сло-

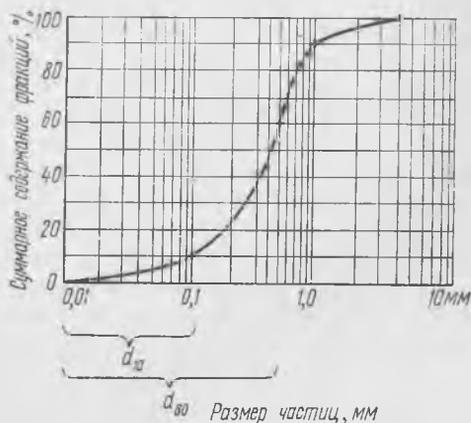


Рис. 50. Суммарная кривая гранулометрического состава в полулогарифмическом масштабе

жения породы в естественных условиях залегания и является величиной переменной. Максимального значения при данной пористости она достигает, когда поры полностью заполнены водой, минимального — когда порода сухая. Поскольку большинство грунтов пористые, их объемная масса всегда меньше плотности. Объемная масса скальных пород из-за их малой пористости близка по значению к плотности. У грунтов без жестких связей объемная масса составляет от 1,3 до 2,4 г/см³, максимального значения она достигает в условиях наибольшего их увлажнения.

Объемная масса является прямым расчетным показателем и используется для определения горного давления, давления грунтов на подпорные стенки, расчета устойчивости откосов выемок, котлованов и карьеров, для вычисления объемной массы скелета грунта (объемной массы сухого грунта) и пористости. Определяют объемную массу путем взвешивания образцов грунта, отбираемых при помощи режущих колец, и последующего парафинирования. В полевых условиях ее можно определять геофизическими методами.

Для решения различных инженерно-геологических задач определяют объемную массу грунта в естественных условиях γ_0 , объемную массу скелета грунта γ_c и объемную массу грунта под водой $\gamma_{взв}$. Объемная масса скелета грунта меньше объемной массы грунта, находящегося в естественных условиях, на величину массы содержащейся в нем влаги, что легко определяется взвешиванием после высушивания. Для глинистых грунтов объемную массу скелета грунта γ_c при известных значениях объемной массы влажного грунта γ_0 и естественной влажности W_e определяют по формуле

$$\gamma_c = \frac{\gamma_0}{1 + 0,01W_e}.$$

Объемная масса грунта под водой $\gamma_{взв}$ уменьшается из-за взвешивающего влияния воды, действующей на породу в соответствии с законом Архимеда. Ее определяют по формуле

$$\gamma_{взв} = \frac{\gamma_c(\gamma - 1)}{\gamma},$$

где γ — плотность грунта.

Значение $\gamma_{взв}$ используют при расчетах устойчивости оснований и откосов, находящихся ниже уровня грунтовых вод.

Влажность и пористость. Эти важнейшие характеристики инженерно-геологических свойств горных пород рассмотрены в разделе «Гидрогеология». Следует лишь отметить, что наряду с показателем естественной влажности ω_e , характеризующим массовое или объемное содержание влаги в грунте (в %), в инженерной геологии используют показатель G , характеризующий степень заполнения пор грунта водой (определяется отношением объема воды в порах к объему всех пор) и называемый степенью влажности. Теоретически его величина может изменяться от 0 (для абсолютно сухих грунтов) до 1 (для грунтов с полностью заполненными водой порами). В зоне насыщения степень влажности грунтов составляет 0,8—1,0, в зоне аэрации она значительно меньше. Степень влажности грун-

тов (особенно песчаных) учитывается при определении нормативных давлений. Величину показателя степени влажности G определяют по специальным номограммам, а также по формулам

$$G = \frac{W_e \gamma_c}{n_j} = \frac{W_e \gamma}{\varepsilon} = \frac{W_e^2 (1 - n)}{n},$$

где n — коэффициент пористости; ε — коэффициент приведенной пористости (в долях единицы).

Пористость грунтов является их важнейшей строительной характеристикой, так как она определяет плотность их сложения. Показатели пористости используют для вычисления объемной массы, коэффициента фильтрации, плотности сложения, водоотдачи и других расчетных показателей грунтов.

Пластичность грунтов и их консистенция. Эти показатели определяют для глинистых грунтов и проявляются при их увлажнении. Пластичностью называют способность пород изменять свою форму — деформироваться без разрыва (без образования трещин) под влиянием внешнего воздействия и сохранять принятую форму после прекращения этого воздействия. Пластичность глинистых и некоторых других пород (лёссов, глинистых мергелей и мелов) зависит от их влажности, гранулометрического и минерального состава, формы минеральных частиц, химического состава поровых вод, состава обменных катионов и других факторов. Количественной характеристикой пластичности пород в инженерно-геологической практике являются пределы пластичности: нижний предел пластичности (или граница раскатывания) и верхний предел пластичности (или граница текучести).

Под нижним пределом пластичности понимают влажность породы W_p (в %), при которой она переходит из твердого состояния в пластичное. Обычно этот предел устанавливают как влажность породы, при которой ее можно раскатать в жгутики толщиной 3 мм.

Верхний предел пластичности — это влажность породы W_T (в %), при которой она переходит из пластичного состояния в текучее. Разность между верхним и нижним пределами пластичности ($W_{II} = W_T - W_p$), соответствующая интервалу влажности, в котором порода находится в пластичном состоянии, называется *числом пластичности*. По значению числа пластичности глинистые грунты подразделяются на супеси (при $W_{II} < 7$), суглинки ($7 < W_{II} < 17$) и глины ($W_{II} > 17$).

Под консистенцией понимается степень подвижности частиц, слагающих глинистую породу, под влиянием внешнего механического воздействия при различной влажности. Количественно консистенция характеризуется показателем консистенции B , которым учитывается степень приближения естественной влажности изучаемой породы W_e к нижнему или верхнему пределу пластичности. Для определения B используют формулы

$$B = \frac{W_e - W_p}{W_{II}} \quad \text{или} \quad B = \frac{W_T - W_e}{W_{II}}.$$

В зависимости от значения показателя консистенции B глинистые грунты классифицируют по их консистенции. Так, супеси относят к твердой консистенции при $B < 0$, к пластичной — при $0 \leq B \leq 1$, к текучей — при $B > 1$; суглинки и глины относят к твердой консистенции при $B < 1$, к полутвердой — при $0 \leq B \leq 0,25$, к тугопластичной — при $0,25 \leq B \leq 0,5$, к мягкопластичной — при $0,5 \leq B \leq 0,75$, к текучепластичной — при $0,75 \leq B \leq 1$, к текучей — при $B > 1$. В зависимости от консистенции грунтов устанавливают их несущую способность при проектировании зданий и сооружений.

Липкость (прилипаемость). Этим показателем характеризуется способность грунтов при определенной влажности прилипать к рабочим органам землеройных и других механизмов. Проявляется липкость при влажности выше нижнего предела пластичности. Количественной ее характеристикой является максимальное усилие (в Па), необходимое для отрыва металлической пластинки от грунта при различной его влажности. Определяют липкость в лабораторных условиях.

Проявление липкости обусловлено действием тех же факторов, что и пластичности. Максимальную липкость имеют натрий-монтмориллонитовые глины. Определение липкости имеет существенное значение при строительстве дорог, аэродромов и пр.; ее учет необходим также при проектировании и разработке землеройных механизмов.

Набухание и усадка. Глинистые породы при увлажнении увеличиваются в объеме — набухают, а при уменьшении влажности их объем уменьшается — происходит усадка. Причиной набухания является увеличение толщины пленок физически связанной воды. Объем минеральных частичек в набухающем грунте остается неизменным, а увеличение объема грунта вызывается увеличением пор, полностью заполняемых водой; поэтому влажность набухающих грунтов возрастает. Так как утолщающиеся вокруг минеральных частичек пленки снижают силы сцепления между частичками, прочность набухших грунтов значительно уменьшается.

Усадка вызывается процессами, обратными набуханию. При уменьшении влажности тонкие пленки не препятствуют проявлению сил сцепления между минеральными частичками грунта, происходит сближение частичек и объем грунта сокращается.

Набухание и усадка грунтов могут приводить к деформациям оснований инженерных сооружений, а также откосов выемок, котлованов, каналов и пр. Поэтому при проектировании инженерных сооружений следует изучать и учитывать способность грунтов к набуханию и усадке. Количественно величина набухания выражается давлением набухания, влажностью набухания или увеличением объема образца породы. Усадка характеризуется уменьшением объема либо длины усыхающего образца (объемная и линейная усадка) или влажностью на пределе усадки. Под влажностью на пределе усадки понимается та влажность, по достижении которой при дальнейшем высыхании образца (т. е. уменьшении его влажности) объем образца остается неизменным.

Размокаемость. Под размокаемостью понимается способность глинистых грунтов при впитывании воды терять связность и превращаться в рыхлую бесформенную массу, полностью лишенную несущей способности. Основная причина размокания — образование около минеральных частичек грунта предельно толстых пленок, устраняющих внутренние структурные связи — коагуляционные и нестойкие цементационные. Нарушению естественного сложения пород значительно способствует размокание. Интенсивность размокания глинистых пород в воде зависит от их состава, начальной влажности, наличия цементационных связей и их водостойкости, степени выветрелости, нарушения естественной структуры искусственными факторами. Знать степень размокаемости важно при оценке устойчивости берегов водохранилищ, откосов каналов, стенок котлованов и других земляных сооружений.

Показателями размокаемости являются скорость размокания, т. е. время, в течение которого образец грунта, помещенный в воду, распадается, и характер распада (крупные или мелкие комочки, пыль и т. п.). Размокаемость определяют на образцах с ненарушенной и нарушенной структурой (в зависимости от того, в каком состоянии грунт будет взаимодействовать с водой).

Морозоустойчивость. Морозоустойчивость — это способность влажной горной породы противостоять разрушающему действию замерзающей в ее порах и трещинах воды. Напряжение, возникающее при этом в породе, может достигать $1,96 \cdot 10$ Па. Морозоустойчивость зависит от прочности пород, величины и характера пористости и трещиноватости, степени насыщения пор водой и от скорости промерзания. Морозоустойчивость пород определяют путем попеременного замораживания образцов в холодильной камере при температуре от -15 до -40°C , оттаивания их в воде, имеющей комнатную температуру, и определения временного сопротивления сжатию до и после замораживания. Число циклов испытаний от 25 до 200 и больше, в зависимости от типа и важности сооружений, для которых намечается использовать породу. Степень морозоустойчивости оценивают числом циклов испытаний, которые выдержала горная порода без заметных признаков разрушения и потери прочности от замораживания.

§ 35. Механические свойства горных пород

Под механическими свойствами понимают способность горных пород сопротивляться внешним механическим воздействиям. От механических свойств пород зависят их деформируемость и прочность под действием внешних нагрузок, а следовательно, поведение в основании сооружений, в откосах выемок, карьеров, котлованов, в подземных выработках и пр. Механические свойства грунтов обусловлены совокупностью их физических свойств и действующих физико-геологических процессов и должны изучаться с учетом их комплексного влияния.

Механические свойства рыхлых горных пород. В строительной практике они имеют наибольшее значение, так как эти породы распространены почти повсеместно. Для рыхлых отложений определяют главным образом их сжимаемость и сопротивление сдвигу.

Сопротивление грунтов сжатию. Степень сжимаемости и уплотнения грунтов зависит от их гранулометрического состава, структуры, влажности, минералогического состава, фильтрационных свойств, характера действующей нагрузки, нарушенности естественного сложения и других факторов. Степень сжимаемости песчаных и глинистых грунтов неодинакова. Сжимаемость песчаных пород определяется взаимным перемещением отдельных зерен относительно друг друга, компактностью их укладки, а при больших нагрузках — и степенью раздробления отдельных зерен. Она обычно невелика по размерам, происходит быстро и не зависит от влажности. Сопротивление взаимному перемещению минеральных частичек в раздельнозернистых грунтах (песок, гравий, щебенка и пр.) оказывают преимущественно силы трения, проявляющиеся по поверхности скольжения. При воздействии на такие грунты динамических знакопеременных нагрузок уплотнение их может быть более значительным и протекать медленнее.

Сжимаемость глинистых грунтов больше, чем песчаных. Для них характерны пластические деформации даже под небольшими нагрузками, особенно при увлажнении грунтов. В сухом состоянии и при очень малой влажности глинистые грунты обладают почти такой же механической прочностью, как твердые скальные горные породы. Влажные глинистые грунты деформируются при сжатии без видимого нарушения их структуры. Этому способствуют гидратные оболочки вокруг минеральных глинистых частичек и поровые растворы, частично принимающие на себя нагрузку от сооружений. Процесс сжатия таких грунтов растянут во времени и зависит от их фильтрационных свойств, определяющих условия отжатия поровых растворов, температуры и других факторов.

Показатели сжимаемости грунтов определяют как в лабораторных условиях на образцах с ненарушенной или нарушенной структурой, так и в естественных условиях залегания пород (путем нагрузки на штампы в шурфах и скважинах, а также другими методами).

Сжимаемость рыхлых пород в лабораторных условиях определяют в компрессионных приборах с жесткими стенками — одометрах (что исключает возможность бокового расширения образца грунта) либо в стабилометрах, обеспечивающих трехосное сжатие испытуемого образца. Второй способ определения сжимаемости грунтов более правильно моделирует их поведение в основании сооружений. В одометре можно определить коэффициент уплотнения, модуль общей деформации и коэффициент фильтрации грунта. Испытание грунтов в стабилометре позволяет комплексно определять показатели механических свойств несвязных и связных грунтов: коэффициент уплотнения, модуль общей деформации, коэффициент внутреннего трения, сцепление, фильтрационные свойства и др.

В одометрах образец грунта 2 (рис. 51) помещают в жесткое металлическое кольцо 4, вставляемое в корпус 3. Сверху и снизу образец прикрыт пористыми пластинками 1 и 5, свободно пропускающими воду, отжимаемую из грунта при его сжатии. При испытаниях водонасыщенных грунтов одометр погружают в сосуд с водой. Давление на образец передается рычажным приспособлением,

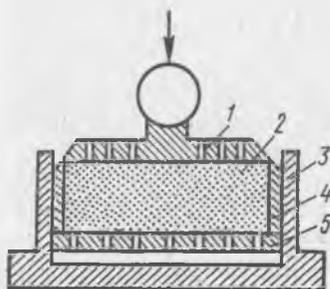


Рис. 51. Схема одометра

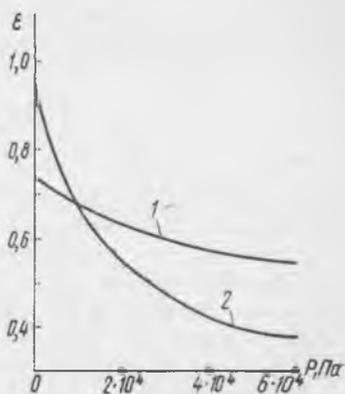


Рис. 52. Компрессионные кривые для образцов с естественной (1) и нарушенной (2) структурой

на котором устанавливают груз. Уплотнение фиксируют при помощи специального индикатора — мессуры, регистрирующей изменение высоты образца, которое связано с уменьшением пористости грунта.

Каждому действующему на данную породу давлению соответствует определенная пористость, а при полном насыщении пор водой — и влажность. Связь между изменением пористости и давлением выражается кривой, называемой компрессионной. Для графического построения компрессионной кривой на оси ординат откладывают значения коэффициента приведенной пористости ε , а на оси абсцисс — давление P в Па (рис. 52).

Важнейшим показателем механических свойств грунтов, получаемым при компрессионных испытаниях, является коэффициент уплотнения, или коэффициент компрессии, характеризующий изменение пористости, а тем самым и объема породы, при изменении нагрузки. Для обычно встречающихся в строительной практике давлений $9,8 \cdot 10^4$ — $4,9 \cdot 10^5$ Па коэффициент уплотнения a определяют ориентировочно по формуле

$$a = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{P_2 - P_1} \frac{1}{\text{Па}},$$

где P_1 , P_2 и ε_1 , ε_2 — нагрузки и соответствующие им коэффициенты

приведенной пористости, снимаемые с графика либо принимаемые по результатам опыта.

Грунты являются сильносжимаемыми при $a > 1,02 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{Па}}$, среднесжимаемыми при $1,02 \cdot 10^{-7} \leq a \leq 1,02 \cdot 10^{-6}$ и слабосжимаемыми при $a < 1,02 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{Па}}$.

По результатам компрессионных испытаний устанавливают также модуль общей деформации E_0 , величину которого определяют ориентировочно по соотношению $E_0 = 1/a$ либо более точно по формуле

$$E_0 = \frac{(1 - \mu)(1 + 2\mu)}{1 + \mu} \cdot \frac{1 + \varepsilon_0}{a},$$

где μ — коэффициент бокового давления (для песков равен 0,4—0,42, для глин 0,7—0,75); ε_0 — начальный коэффициент приведенной пористости; a — коэффициент уплотнения.

Коэффициент уплотнения и особенно модуль общей деформации являются важнейшими расчетными показателями, входящими в формулы для расчета осадки проектируемых сооружений.

Сопrotивление грунтов сдвигу. Изучение сопротивления грунтов сдвигающим усилиям имеет большое практическое значение для определения несущей способности грунтов оснований, оценки устойчивости откосов, расчета давления горных пород на крепь подземных выработок и на подпорные сооружения и для других инженерных расчетов. Сопrotивление сдвигу раздельнозернистых грунтов определяется сопротивлением трению твердых минеральных частиц по поверхности скольжения. Связным грунтам присущи преимущественно внутренние структурные связи между минеральными частицами — коагуляционное, конденсационное и отчасти кристаллизационное сцепление, обуславливающие их прочность.

Принято считать, что сопротивление всех разновидностей рыхлых грунтов сдвигу обуславливается и трением и сцеплением, только в зависимости от состава грунтов и их физических свойств может преобладать либо то либо другое.

Наиболее часто применяемыми способами определения показателей сопротивления грунта сдвигу являются следующие: определение сопротивления сдвигу по одной или двум заранее фиксированным в сдвиговых приборах плоскостям; определение сопротивления сдвигу путем раздавливания образцов при одноосном и трехосном сжатии; определение сопротивления сдвигу по углу естественного откоса. В практике лабораторных исследований чаще всего используют первый способ (рис. 53).

Результаты испытаний сопротивления грунтов сдвигу выражают в виде графика, на оси абсцисс которого откладывают значения нагрузки, на оси ординат — соответствующие им сдвигающие усилия (рис. 54). Математически сопротивление грунтов сдвигу выражается уравнением К. Кулона: $\tau = \sigma f + C$, где τ — сопротивление сдвигу, Па; σ — нормальное давление, Па; f — коэффициент внутреннего трения, равный $\text{tg } \varphi^\circ$, где φ° — угол внутреннего трения.

Это уравнение показывает, что суммарно сопротивление сдвигу равно нормальному давлению, умноженному на коэффициент внутреннего трения, плюс некоторая постоянная C , которая свидетельствует, что даже при отсутствии нормального давления необходимо приложить какое-то сдвигающее усилие $\tau = C$ для достижения сдвига. Силу C , сопротивляющуюся сдвигу при отсутствии внешней нагрузки, называют сцеплением. Коэффициент внутреннего трения f и сцепление C являются важнейшими показателями прочности, и точное определение их — одна из основных задач при инженерно-геологических исследованиях.

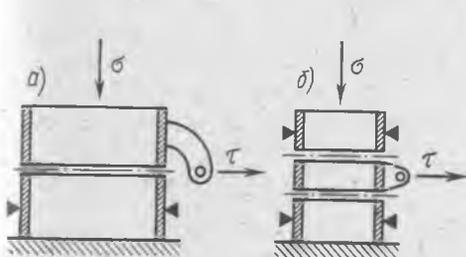


Рис. 53. Схема определения сопротивления грунтов сдвигу:

a — по одной плоскости; b — по двум плоскостям; σ — нормальное давление; τ — сдвигающее усилие

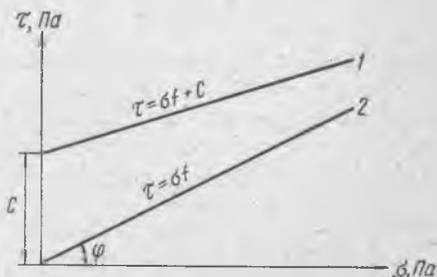


Рис. 54. График зависимости сопротивления грунтов сдвигу τ от нормального давления σ для связных (1) и для несвязных (2) грунтов

В несвязных раздельнозернистых грунтах силы сцепления C ничтожны, и их можно принимать равными нулю. Поэтому зависимость сопротивления таких грунтов сдвигу определяется лишь коэффициентом внутреннего трения, и прямолинейный график $\tau = \sigma f$ проходит через начало координат (см. рис. 54). В чистых сыпучих породах угол внутреннего трения φ° весьма близок углу естественного их откоса, т. е. углу, который образует свободно насыпанный песчаный грунт с горизонтальной поверхностью. Угол естественного откоса грунтов определяют при воздушносухом их состоянии и под водой специальными приборами. Влажность несколько снижает сопротивление раздельнозернистых грунтов, особенно при наличии в них глинистой фракции.

В связных глинистых породах сопротивление сдвигу зависит от сцепления и коэффициента внутреннего трения. График зависимости $\tau = f(\sigma)$ отсекает на оси ординат отрезок, равный по величине сцеплению C (см. рис. 54). Увлажнение глинистых грунтов существенно снижает внутреннее трение между частицами и уменьшает силы сцепления.

Механические свойства пород с жесткими связями. При изучении пород с жесткими связями (скальных и полускальных) оцениваются их деформационные свойства (модуль упругости E и модуль общей деформации E_0) и прочность.

Деформации скальных и полускальных пород связаны с разрушением кристаллов минералов и разрывом структурных связей. В породах трещиноватых, подвергшихся выветриванию, деформации происходят в основном по ослабленным зонам — трещинам, плоскостям расслоения, пустотам и т. п. Под действием нагрузок от инженерных сооружений скальные и полускальные породы ведут себя как твердые, упругие, практически несжимаемые тела. Их высокая прочность обусловлена значительными по величине силами сцепления между слагающими породу отдельными минералами и зернами.

Различают механическую прочность скальных и полускальных пород на сжатие, на сдвиг (скалывание), на растяжение (разрыв) и на изгиб. Наибольшее значение в инженерной практике имеет *прочность пород на сжатие*, характеризующая временным сопротивлением породы на сжатие. Это сопротивление представляет собою предельную нагрузку, при которой образец породы разрушается. Прочность пород на сжатие определяют путем раздавливания образцов под прессом. Она зависит от минерального состава, текстуры, структуры, характера связи между зернами породы и степени ее выветривания. Обычно прочность скальных и полускальных пород на сжатие очень велика, поэтому они являются надежными основаниями для инженерных сооружений.

Прочность некоторых осадочных пород (мергелей, аргиллитов, песчаников с глинистым цементом и др.) уменьшается при их увлажнении. Степень уменьшения временного сопротивления пород сжатию при их увлажнении называют размягчаемостью; ее необходимо учитывать в строительной практике. При изучении скальных пород как облицовочного материала, кроме их размягчаемости, следует определять и учитывать их морозоустойчивость.

У скальных и полускальных пород *прочность на сдвиг* (скалывание), *растяжение* (разрыв) и *изгиб* значительно меньше их прочности на сжатие. Можно считать, что прочность этих пород на сдвиг составляет 6—8%, на растяжение — 3—5 и на изгиб — 7—15% их прочности на сжатие. Прочность пород увеличивается при двустороннем и многостороннем их сжатии, что необходимо учитывать при проведении исследований.

При использовании горных пород как материалов для дорожных покрытий, тротуаров, полов, лестниц и т. п. оценивают их сопротивление истирающим усилиям, которое зависит от твердости пород.

Для оценки сопротивляемости пород при проходке горных выработок и разработке полезных ископаемых используют понятие «крепость пород». По М. М. Протодьяконову она определяется коэффициентом крепости, за единицу которого принимается временное сопротивление кубика горной породы раздавливанию, равное $9,8 \cdot 10^6$ Па. Крепость пород изменяется от долей единицы для пес-

чано-глинистых грунтов и почв до 10—20 единиц для крепких скальных пород.

При проектировании и проведении буровых работ горные породы оценивают по буримости, т. е. по трудности их проходки буровым инструментом при том или ином способе бурения. В частности, для целей вращательного механического бурения скважин все горные породы подразделены по буримости на 12 категорий. Например, к первой категории относятся рыхлые глинистые и суглинистые отложения, к шестой — конгломераты, песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, аргиллиты, дуниты и т. п., к двенадцатой — плотные джеспилиты, кремни, яшмы, роговики, кварциты и другие прочные и крепкие породы.

§ 36. Искусственное изменение инженерно-геологических свойств горных пород

В том случае, если в естественных условиях горные породы не обладают необходимой прочностью, устойчивостью, водостойкостью или другими качествами, обеспечивающими рациональную конструкцию сооружения и его нормальную эксплуатацию, возникает необходимость в искусственном изменении (улучшении) их инженерно-геологических свойств.

Различные способы искусственного изменения свойств горных пород называют *технической мелиорацией*. Современные способы технической мелиорации позволяют придавать связность сыпучим породам, монолитность скальным породам, разбитым многочисленными трещинами; увеличивать прочность глинистых и песчаных рыхлых пород; уменьшать пылимость глинистых пород на дорогах; понижать водопроницаемость, повышать механическую прочность разнообразных пород; повышать морозоустойчивость пород, устойчивость против агрессивных подземных вод; повышать плотность рыхлых пород; изменять консистенцию глинистых пород; обеспечивать организацию строительных работ и др.

Выбор способа изменения свойств породы зависит от ее типа, гидрогеологических условий, типа сооружения и характера его взаимодействия с породой, а также от экономических соображений.

Все способы изменения свойств пород можно разделить на две группы. К первой группе относятся способы, которые обеспечивают коренное изменение свойств горных пород на длительный срок. Это цементация, силикатизация, битумизация, глинизация, термическая обработка, внесение различных добавок для укрепления пород при дорожном строительстве. Вторая группа объединяет способы, при помощи которых свойства пород изменяют на короткое время, в основном на период производства строительных работ (замораживание и осушение).

Техническую мелиорацию применяют для улучшения инженерно-геологических свойств пород с жесткими связями и без жестких связей. Для пород с жесткими связями — это уменьшение их трещиноватости, водопроницаемости и повышение водостойкости и

морозоустойчивости. Цели мелиорации пород без жестких связей — улучшение их устойчивости, несущей способности и монолитности, уменьшение водопроницаемости, обводненности и т. д.

Ниже кратко охарактеризованы основные способы технической мелиорации горных пород.

Цементация. Этот способ применяют в основном для мелиорации трещиноватых и кавернозных скальных пород и песчано-гравелистых грунтов с коэффициентом фильтрации от 2 до 500 м/сут. Для цементации разработана рецептура цементно-песчаных, глинисто-силикатных и алюмосиликатных тампонажных растворов. Цементацию ведут путем нагнетания тампонажных растворов в грунт через инъекторы, смонтированные в пробуренных скважинах.

Благодаря цементации существенно уменьшается водопроницаемость пород, основанию сооружений придается достаточная механическая прочность, уменьшается опасность механической и химической суффозии, достигается прочное водонепроницаемое сопряжение подошвы фундамента сооружения с грунтовым основанием. Цементацию широко применяют при строительстве гидротехнических сооружений — плотин, шлюзов, зданий ГЭС и т. п., при проходке стволов шахт, строительстве подземных сооружений и других объектов.

Глинизация. В тех случаях, когда наличие больших трещин и каверн в породе либо глинистого или иного заполнителя в трещинах делает цементацию ненадежной и слишком дорогой, для заполнения трещин и уменьшения водопроницаемости пород (уплотнения пород) применяют глинизацию. Сущность ее заключается в том, что в трещины породы через специальные буровые скважины нагнетают глинистый раствор. В результате заполнения им трещин и последующего оседания глинистых частиц достигается полная водонепроницаемость породы. Чтобы ускорить оседание глинистых частиц в трещинах и удалить излишнюю воду из жидкого глинистого раствора, к нему прибавляют в качестве коагулянтов хлористый кальций и известь, а для отжима воды увеличивают давление нагнетания. При хорошем качестве работ (плотном заполнении пустот в породе) глинизация является долговечной и не подвержена разрушению агрессивными подземными водами.

Техника выполнения работ при глинизации почти такая же, как при цементации. Основные преимущества глинизации перед цементацией — ее меньшая стоимость и возможность использовать местные материалы, а также отсутствие необходимости предварительно промывать трещины и очищать их от глинистого заполнителя.

Наилучшие результаты глинизация дает в безводных трещиноватых и закарстованных известняках с удельным водопоглощением от 0,1 до 100 л/мин.

Смолизация аналогична глинизации, только гелеобразующей смесью является синтетическая смола и отвердитель, нагнетаемые в грунты. Водный раствор гелеобразующей смеси обладает малой вязкостью, что обеспечивает ее хорошее проникновение в сухие и

водонасыщенные мелкозернистые грунты с коэффициентом фильтрации от 0,02 до 5 м/сут. Через несколько часов после нагнетания гелеобразующая смесь при взаимодействии с отвердителем превращается в твердеющий гель.

Смолизация придает слабым грунтам значительную прочность, водо- и морозоустойчивость, водонепроницаемость, лёссовые грунты после смолизации теряют просадочные свойства, пльвуны превращаются в монолитную прочную водоустойчивую породу.

Битумизация. Она заключается в нагнетании в песчаные и трещиноватые скальные породы расплавленного битума (горячая битумизация) или битумной эмульсии (холодная битумизация) для уменьшения их водопроницаемости и увеличения прочности, создания водонепроницаемых завес и гидроизоляции, предотвращения суффозии, сокращения потерь воды на фильтрацию и т. д.

Замораживание. Этот способ применяют для придания породам временной водонепроницаемости и прочности. Преимуществом замораживания является то, что оно применимо для любых пород, недостатками — временный характер закрепления, длительность процесса (до нескольких месяцев) и необходимость применять громоздкое оборудование.

Замораживание сводится к следующему. Через специально пробуренные скважины нагнетают охлажденную жидкость (рассол), которая должна циркулировать непрерывно. В результате вокруг замораживающих скважин постепенно создаются ледопородные цилиндры. При слиянии соседних цилиндров создается прочная водонепроницаемая стенка, под защитой которой и ведут затем все строительные работы по сооружению подземного объекта. Замораживающая установка состоит из системы трубопроводов, в которых совершается круговое движение рассола. В качестве холодоносителя обычно применяют раствор хлористого кальция с температурой замерзания —21—55°С.

Электродренаж. При пропускании постоянного электрического тока через обводненные глинистые породы и пылеватые глинистые пески-пльвуны в них возникает направленное движение воды от анода к катоду, а мелких коллоидных частичек — к аноду. Это явление используют для осушения (дренажа) грунтов, обладающих в естественных условиях слабой водоотдачей. Такой способ обезвоживания грунтов называют электродренажем. При осуществлении электродренажа скважины, играющие роль катодов, закладывают по периметру осушаемой выемки (траншеи, котлована), а в непосредственной близости от них (на расстоянии 0,5—0,8 м от контура скважин) забивают на такую же глубину аноды (газовые трубы, металлические штыри и т. п.). При подключении генератора поступающая к катодам (скважинам) вода откачивается, и обводненный массив глинистых и песчано-глинистых пород эффективно осушается (рис. 55).

Термическое укрепление. Этот способ применяют для мелиорации лёссовых пород, служащих основанием для различных наземных сооружений. Для устранения просадочности лёссовых пород в

них через скважины подают горячую смесь и сжигают ее в толще пород. Одновременно в грунт нагнетают под избыточным давлением воздух. Образующиеся при сжигании газообразные продукты нагревают породу до 700—900°C, и через 5—6 суток непрерывного действия установки вокруг каждой скважины образуется однородный массив кирпичеобразного вида и цвета диаметром 1,5—3 м — своего рода термосвая. Лёсы приобретают водостойкость, теряют присущие им просадочные свойства, прочность их значительно возрастает.

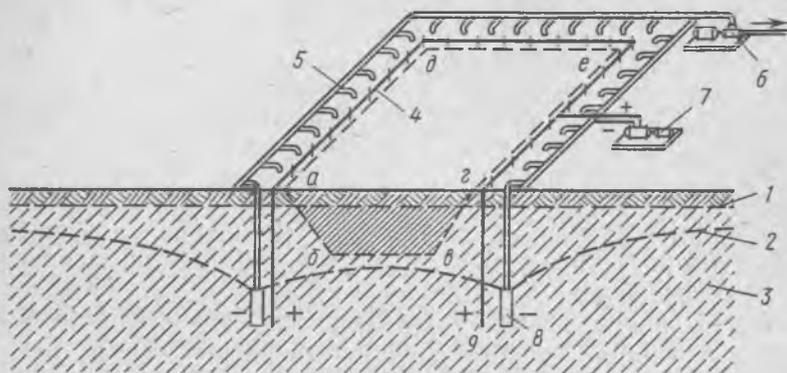


Рис. 55. Схема электродренажа:

1 — уровень грунтовых вод до осушения; 2 — уровень грунтовых вод, сниженный электродренажем; 3 — водоносные породы; 4 — электрическая цепь, соединяющая аноды 9; 5 — коллектор, соединяющий буровые скважины (катоды) 8; 6 — насос; 7 — генератор постоянного тока; а — е — контур отрываемого котлована

Для укрепления просадочных лёссовых и лёссовидных пород применяют также поверхностное уплотнение путем трамбовки и уплотнение набивными песчаными сваями. Оба способа широко используют при подготовке оснований для промышленного и гражданского строительства. При уплотнении песчаными сваями в лёссовых породах бурят скважины до подстилающих их непросадочных пород и стволы этих скважин забивают песком, который постепенно увлажняют и уплотняют.

При различных видах специального строительства используют и другие способы технической мелиорации горных пород. В частности, при строительстве дорог и аэродромов для укрепления верхней части почвы, грунтов и оснований сооружений в грунты вносят различные гранулометрические добавки (щебень, гравий, песок, шлаки), органические вяжущие материалы (битумы, мазут, нефть), неорганические вяжущие материалы (известь и цемент), соли и т. д.

Следует также отметить мероприятия, направленные на укрепление призабойной зоны водозаборных и дренажных скважин (за-

качка в призабойную зону специальных крепителей и цементно-песчаных смесей, устройство гравийных обсыпок), на повышение ее водопроницаемости и водообильности (промывки, торпедирование, обработка фильтров и призабойной зоны твердой углекислотой, соляной углекислотой и другими реагентами, свабиrowание и вакуумирование скважин, гидравлический разрыв пластов и пр.).

Контрольные вопросы

1. Что такое инженерная геология и каковы ее основные задачи?
2. На какие основные классы делятся породы согласно общей инженерно-геологической классификации? Охарактеризуйте их.
3. Что такое гранулометрический состав? Какие свойства пород он определяет?
4. Какие показатели физико-механических свойств горных пород вы знаете?
5. Что такое пластичность и консолиденция грунтов?
6. Как и для чего определяют сопротивление грунтов сжатию?
7. От чего зависит сопротивление связных и несвязных грунтов сдвигу?
8. Какие механические свойства определяют для пород с жесткими связями?
9. С какой целью выполняют техническую мелиорацию пород?
10. Какие методы технической мелиорации вы знаете?

ГЛАВА 12

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

§ 37. Требования к исследованиям на различных стадиях проектирования

Назначение инженерно-геологических исследований. Инженерно-геологические исследования проводятся, как уже говорилось, для обоснования проектирования и строительства различных инженерных сооружений, а также для разведки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

В результате проведения инженерно-геологических исследований должны быть получены данные, необходимые для того, чтобы обосновать: 1) выбор места для размещения проектируемого сооружения, 2) конструктивные особенности сооружения и рациональные методы работ при его возведении, 3) мероприятия для улучшения прочности пород и предотвращения вредного воздействия различных физико-геологических или инженерно-геологических процессов на сооружение в период его строительства и дальнейшей эксплуатации.

Строительство и эксплуатация крупных инженерных сооружений обычно вызывают значительные изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий на больших территориях. Поэтому в результате исследований необходимо также прогнозировать влияние на окружающую местность строительных работ и эксплуатации сооружений.

При инженерно-геологических исследованиях (проводимых в комплексе с гидрогеологическими) изучают распространение, усло-

вия залегания, происхождение, возраст, литологический состав и мощность горных пород до глубины, определяемой воздействием инженерного сооружения; инженерно-геологические свойства горных пород; глубину залегания, состав, мощность и водопроницаемость водоносных пород; физические свойства, химический состав подземных вод и агрессивность их к строительным материалам; физико-геологические процессы (оползни, карст, суффозия и др.), а также климатические факторы, влияющие на развитие этих процессов (атмосферные осадки, испарение).

Только всесторонний учет инженерно-геологических условий позволяет правильно обосновать размещение проектируемых сооружений, их конструктивные особенности, а при наличии неблагоприятных инженерно-геологических условий — наметить и осуществить мероприятия, обеспечивающие устойчивость и долговечность сооружений.

Известны многочисленные примеры, когда недостаточное знание инженерно-геологических условий местности при строительстве различных инженерных сооружений приводило к частичному или полному их разрушению. Классическим примером ошибок строителей при оценке механической прочности пород является «падающая башня» в городе Пизе (Италия). Эта башня была построена в 1174 г. и постепенно стала наклоняться, что и создало ей славу «падающей». Оказалось, что под фундаментом с одной его стороны залегают сильно сжимаемые иловато-глинистые грунты, что и обусловило одностороннюю осадку башни. Сейчас ее наклон приобрел угрожающие размеры, и если не будут приняты меры, башня может разрушиться. Известен пример неудачного строительства водохранилища в Испании, где на одной из горных рек была построена железобетонная плотина высотой 72 м. Но водохранилище так и не наполнилось: вся вода из перегороженной реки уходила под плотинной через карстовые пустоты в известняках.

Нередки случаи разрушения сооружений, построенных на карстующихся породах, на оползневых склонах без достаточного инженерно-геологического обоснования.

Примером полного учета инженерно-геологических условий местности является городское и курортное строительство на отдельных участках побережья Черного моря в нашей стране. Несмотря на развитие в этом районе оползней здесь успешно строятся даже высотные здания и промышленные предприятия благодаря конструкциям фундаментов, соответствующим инженерно-геологическим условиям, и профилактическим мероприятиям по предотвращению оползней.

Различные типы инженерных сооружений предъявляют свои, специфические требования к изучению инженерно-геологических условий территорий. По целям и задачам исследований, видам и объемам работ имеют свои особенности инженерно-геологические исследования для следующих видов строительства: гражданского и промышленного, гидротехнического, мелиоративного, автомо-

бильных и железных дорог, трубопроводов, линий электропередач и др.

Инженерно-геологические исследования проводятся по стадиям (для обоснования соответствующих стадий проектирования сооружений). Рассмотрим кратко задачи инженерно-геологических исследований на разных стадиях проектирования основных типов инженерных сооружений.

Инженерно-геологические исследования для промышленного и гражданского строительства. Основная задача этих исследований заключается в инженерно-геологическом изучении оснований жилых и промышленных зданий и промышленных сооружений для оценки деформируемости пород, расчетов осадки и устойчивости сооружений, а также прогноза неблагоприятных геологических явлений в период строительства и эксплуатации. Помимо изучения прочности пород в основании сооружений выявляются неблагоприятные инженерно-геологические явления. Они могут быть связаны с деформациями пород вследствие их уплотнения, сдвига и выпора под действием массы сооружения, с механической или химической суффозией при изменении режима подземных вод, пучением в глинистых породах, сезонным промерзанием и оттаиванием пород, плавунными явлениями в обводненных песках, лёссах и илах при вскрытии их котлованами, прорывом подземных вод в строительные котлованы, обрушением и размывом пород в откосах строительных котлованов и выемок, оползнями, с карстовыми, сейсмическими и просадочными явлениями. Определяют также агрессивность подземных вод по отношению к строительным материалам (бетону, металлам).

Инженерно-геологические исследования для обоснования проектирования промышленных и гражданских объектов проводят в две стадии. Первая стадия связана с выбором строительной площадки, когда производится сравнительная оценка возможных вариантов ее размещения. Исследования второй стадии проводятся на выбранной площадке. Их цель — получение инженерно-геологических данных для составления генерального плана промышленного предприятия или комплекса зданий гражданского строительства с учетом прогноза возможного изменения природных условий территории в связи со строительством и эксплуатацией зданий и сооружений.

На первой стадии производят сбор, систематизацию и анализ имеющихся геологических материалов и данных об опыте строительства в районе, маршрутное обследование района, проходку небольшого числа горных выработок с отбором образцов пород для определения классификационных свойств грунтов, а также выясняют общие сведения о гидрогеологических условиях района.

На второй стадии ведут инженерно-геологическую съемку масштаба 1:2000—1:10 000, буровые и горнопроходческие работы для установления состава и мощности пород, особенностей их залегания, определения уровня грунтовых вод, отбора образцов породы и проб воды для лабораторных исследований, полевые опытные

инженерно-геологические и гидрогеологические исследования для определения деформационных, прочностных и фильтрационных свойств пород.

Если строительство намечается в сейсмических, карстовых районах, в районах развития оползней, многолетнемерзлых пород и т. д., проводят специальное изучение соответствующих геологических явлений для разработки инженерных мероприятий по предотвращению их вредного воздействия на сооружения.

Инженерно-геологические исследования для гидротехнического строительства. Гидротехнические сооружения весьма разнообразны по своему народнохозяйственному назначению, видам, размерам, конструктивным особенностям. Инженерно-геологические исследования для их строительства также очень многообразны по своим задачам, составу, применяемым методам, объемам работ.

По народнохозяйственному назначению гидротехнические сооружения делятся на гидроэнергетические (плотины гидроэлектростанций), водно-транспортные (каналы, туннели) и гидромелиоративные (оросительные, обводнительные и осушительные системы).

Плотины представляют собой гидротехнические сооружения, перегораживающие реку или всю речную долину. Они предназначены для подъема уровня воды в реках и создания водохранилищ.

По назначению различают плотины водохранилищные и водоподъемные (последние служат только для повышения уровня воды в реке). По величине напора плотины подразделяют на низконапорные (с напором до 10 м), средненапорные (от 10 до 40 м) и высоконапорные (более 40 м).

По строительному материалу, из которого возводят плотины, они делятся на земляные, каменные и бетонные.

Каналы представляют собой устраиваемые в грунте искусственные русла правильной формы с безнапорным движением воды. По назначению каналы бывают судоходные, энергетические (деривационные), оросительные (ирригационные), осушительные, обводнительные, лесосплавные, рыболовные и комплексного назначения.

Чаще всего каналы имеют в поперечном сечении трапецеидальную или прямоугольную (с подпорными стенками) форму. Если канал проходит в хорошо проницаемых породах, дно и берега его покрывают бетонными плитами, глиной, асфальтом, синтетическими материалами для сокращения потерь воды из-за просачивания ее в грунт и предохранения дна и берегов от размыва течением. На каналах устраивают различные инженерные сооружения: шлюзы, насосные станции, водоспуски, мосты, акведуки.

Гидротехнические туннели представляют собой устроенные в горных породах водоводы замкнутого поперечного сечения с напорным или безнапорным движением воды.

По водохозяйственному назначению различают энергетические, ирригационные, судоходные, водопроводные, водосбросные, строительные (для временного отвода воды при строительстве гидроузла) и комбинированные туннели.

Гидромелиоративные сооружения предназначены для коренного улучшения неблагоприятного водного режима земель. Различают оросительные, обводнительные и осушительные гидромелиоративные системы.

Оросительные системы включают комплекс сооружений и устройств, обеспечивающих подачу и распределение воды на орошаемых землях, а также сброс воды после орошения.

Обводнительные системы предназначены для обеспечения водой безводных и маловодных районов путем освоения местных водных ресурсов. Для этого строят колодцы, скважины, небольшие плотины для задержания талых и дождевых вод и создания искусственных озер и т. д. Иногда сооружают обводнительные каналы и водопроводы.

Осушительные системы строят для осушения избыточно увлажненных земель путем понижения уровня грунтовых вод при помощи дрен — устройств для собирания и отвода воды. Дрены могут быть горизонтальными (открытые — каналы, закрытые — трубчатые) и вертикальными (вертикальные скважины, из которых откачивают воду).

Основными задачами инженерно-геологических исследований для обоснования проектирования различных гидротехнических сооружений являются следующие.

При исследованиях для строительства плотин: выбор надежного основания и боковых примыканий плотины — оценка прочности и деформационных свойств пород, выявление тектонических разломов, сбросов, изучение трещиноватости и закарстованности пород; изучение неблагоприятных физико-геологических явлений на участке строительства плотины — развития оползней, суффозии, продавки и др.; изучение возможности утечек воды из водохранилища через основание и в обход боковых примыканий плотины; оценка агрессивности воды по отношению к строительным материалам.

При исследовании на участках водохранилищ: определение потерь воды на фильтрацию в берега водохранилища; прогноз повышения уровня грунтовых вод и подтопления населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий; оценка устойчивости берегов водохранилища и прогноз их переработки; прогноз появления и активизации оползней, карста и других нежелательных явлений.

При исследованиях для строительства каналов (оросительных, обводнительных): изучение устойчивости откосов каналов, размываемости пород течением воды; оценка потерь воды из каналов на фильтрацию в породы; прогноз повышения уровней подземных вод на прилегающих к каналу площадях.

При исследованиях для строительства туннелей и других горных выработок (штолен и пр.): оценка давления горных пород на крепь («горное давление»); изучение возможности деформации пород в стенках и дне туннеля (в виде выпирания и пучения дна и стенок, сложенных глинистыми или гипсоносными породами), отскоков глыб прочных пород, обрушения кровли туннеля, сдвига и разрыхления вышележащей толщи пород, прорыва пльвунов в туннель,

механической и химической суффозии при фильтрации воды по трещинам, водопритоков.

Инженерно-геологические исследования для гидротехнического строительства проводятся для обоснования следующих стадий (этапов) проектирования.

1. Составление схемы комплексного использования реки (разработка вопросов использования водных ресурсов для гидроэнергетики, водоснабжения и т. д., определение размеров гидроузлов, выбор объектов первоочередного строительства). На этой стадии проводят сбор и обработку фондовых материалов, инженерно-геологические съемки масштаба 1:200 000.

2. Составление технико-экономического обоснования (ТЭО) для подтверждения экономической целесообразности и хозяйственной необходимости проектирования и строительства объекта, выбранного на первой стадии. В результате составления ТЭО определяют участок створа гидроузла, трассы каналов, туннелей и т. д. На этой стадии проводят инженерно-геологическую съемку (масштаб ее определяется сложностью инженерно-геологических условий, характером гидроузла), геофизические, буровые и горные работы, гидрогеологические исследования, изучают физико-механические свойства горных пород.

3. Составление технического проекта. На этой стадии уточняют положение створа гидроузла в пределах участка, выбранного при составлении ТЭО, и составляют технический проект всех сооружений гидроузла. Для этой цели на всех конкурирующих участках створа проводят инженерно-геологическую съемку масштаба от 1 : 25 000 до 1 : 2000 и разведочные работы — бурение скважин и проходку горных выработок, геофизические и гидрогеологические исследования.

4. Составление рабочих чертежей для доработки и уточнения отдельных технических решений в процессе строительства сооружений. На этой стадии инженерно-геологические исследования заключаются в проведении разведочных работ (в основном выработок типа шурфов, шахт, штолен), опытных инженерно-геологических и гидрогеологических работ.

§ 38. Состав инженерно-геологических исследований

Инженерно-геологические работы, проводимые для различных видов строительства на всех стадиях исследований, разделяются на периоды: подготовительный (предполевой), полевой и камеральный.

В подготовительный период изучают геологическое строение, гидрогеологические и инженерно-геологические условия района по архивным, фондовым и литературным материалам, а также решают организационные вопросы и готовятся к выезду в поле.

В полевой период проводят инженерно-геологическую съемку, геофизические исследования, разведочные буровые работы, стати-

ческое и динамическое зондирование, горнопроходческие работы, инженерно-геологическое опробование горных пород, опытные инженерно-геологические работы. В некоторых случаях в состав полевых работ входят стационарные инженерно-геологические наблюдения (например, за развитием оползней, размывов берегов и т. д.).

В камеральный период обрабатывают результаты полевых исследований, составляют отчет и графические приложения к нему — карты, разрезы, колонки скважин и т. д.

Остановимся кратко на содержании основных видов исследований, проводимых в полевой период.

Инженерно-геологическая съемка. Ей принадлежит ведущее место в общем комплексе инженерно-геологических исследований. Она проводится для изучения инженерно-геологических условий территории, в пределах которой намечается строительство сооружений.

Детальность инженерно-геологической съемки определяется масштабом, выбор которого зависит от ее назначения, стадии проектирования, сложности инженерно-геологических условий местности. В зависимости от масштаба съемки подразделяются на мелко-масштабные — от 1:500 000 и мельче, среднemasштабные — от 1:200 000 до 1:25 000 и крупномасштабные — от 1:10 000 и крупнее.

Мелкомасштабные съемки проводят на значительных по площади территориях для обоснования перспективного планирования, например для составления схемы комплексного использования реки. Чаще всего при составлении карт масштаба 1:500 000 ограничиваются использованием фондовых и литературных материалов и проведением отдельных полевых маршрутов для увязки имеющихся фактических данных.

Среднемасштабные съемки служат для обоснования технико-экономического доклада, а при простых инженерно-геологических условиях и несложном характере проектируемых сооружений — для обоснования проектного задания.

Крупномасштабные съемки выполняют в пределах участка, выбранного для расположения проектируемого сооружения, для обоснования проектного задания.

При инженерно-геологической съемке изучают: геологическое строение района, геоморфологические условия, гидрогеологические условия, физико-геологические явления. В процессе съемки обследуют существующие сооружения для получения сведений о величине осадки оснований, устойчивости откосов, дорожных выемок, насыпей, карьеров, мостов и пр.

Основной вид работ при съемке — маршрутные исследования. В комплекс съемки входят также геофизические работы, бурение скважин и проходка горных выработок (шурфов, канав, расчисток).

При проведении маршрутов ведется описание пород в естественных обнажениях или стенках горных выработок, форм рельефа, естественных и искусственных водопроявлений (источников, колодцев, скважин), физико-геологических явлений. При описании гор-

ной породы обычно указывают ее название, цвет в сухом и влажном состоянии, минеральный и механический состав, наличие включений, их форму и состав, характер цементации и состав цемента, наличие в породе пор и пустот, их характер и размеры, наличие трещин, их происхождение, размеры, характер заполнения и состав заполнителя, структуру и текстуру, влажность, консистенцию, степень размокаемости, степень выветривания породы. Для скальных пород особенно важно изучить их трещиноватость. При изучении трещин описывают их расположение, длину и глубину, степень раскрытости и ширину, характер заполнителя, его состав и свойства.

Основными объектами геоморфологических наблюдений при инженерно-геологической съемке являются речные долины и их элементы. Обычно определяют глубину эрозионного вреза ложа долины, поперечный профиль долины, наличие террас и их строение, ширину долины, крутизну ее склонов. Устанавливают связь форм рельефа с геологическим строением территории и наличием тектонических нарушений.

Гидрогеологические наблюдения заключаются в выявлении водоносных горизонтов, установлении площади их распространения, состава и мощности водовмещающих пород и их водообильности. Водообильность пород характеризуют дебитами источников, колодцев или скважин. При описании источника указывают его местоположение по отношению к какому-либо элементу рельефа или ближайшему населенному пункту, название и возраст водоносных пород, характер выхода воды, дебит источника, физические свойства воды; при необходимости отбирают пробу воды для химического анализа. При обследовании колодца или скважины, кроме того, измеряют расстояние от поверхности земли до уровня воды, а также до дна.

При инженерно-геологической съемке широко используют аэрофотоснимки территории. С их помощью можно получить представление об особенностях рельефа изучаемой территории, растительности, почвах, некоторых физико-геологических явлениях (оползнях, карсте и др.), проследить распространение отдельных пластов пород, выявить тектонические нарушения, зоны разгрузки подземных вод и т. д. Аэрофотоснимки дают возможность составить предварительное представление об инженерно-геологических условиях изучаемой территории по установленным геоморфологическим, гидрографическим, геоботаническим, почвенным условиям и по характеру хозяйственного освоения территории. Сведения, получаемые при помощи аэрофотоснимков, в значительной мере ускоряют процесс инженерно-геологической съемки.

Геофизические исследования. Они основаны на измерении удельного электрического сопротивления пород (электроразведка), магнитных свойств пород (магниторазведка), скорости распространения упругих колебаний в породах (сейсморазведка), интенсивности излучений радиоактивных веществ при прохождении их через горные породы (ядерные методы) и т. д.

Геофизические исследования позволяют определить мощность рыхлых четвертичных образований и глубину залегания коренных пород, выявить и оконтурить переуглубленные речные долины (древние долины, заполненные аллювиальными отложениями), расчленить толщу пород на слои различного литологического состава, выявить тектонические нарушения, карстовые зоны и полости в породах, определить глубину залегания грунтовых вод, направление и скорость движения подземных вод и т. д.

Для измерения естественной влажности, объемной массы и плотности пород широко используют ядерные методы.

Разведочные буровые работы. Они проводятся как в процессе инженерно-геологической съемки, так и при детальном исследовании на выбранных для строительства сооружений площадках. Задачей разведочных работ при инженерно-геологических исследованиях является изучение геологического строения исследуемого района на ту или иную глубину, отбор проб, опробование и испытание пород для определения их инженерно-геологических свойств, выявления водоносных горизонтов, степени обводненности и фильтрационных свойств пород, изучения химического состава подземных вод.

В состав разведочных работ входят бурение скважин, зондирование (пенетрация), проходка шурфов, шахт, штолен и других горных выработок.

Особенностью бурения инженерно-геологических скважин является необходимость получения образцов пород с ненарушенной структурой и наиболее полного представления о водоносных горизонтах. По назначению инженерно-геологические скважины подразделяются на картировочные (зондировочные), разведочные и скважины специального назначения. Картировочные скважины служат для изучения геологического разреза, из них отбирают образцы пород с нарушенной структурой. Разведочные скважины бурят не только для получения геологической документации, но и для отбора монолитов с ненарушенной структурой.

При инженерно-геологических исследованиях применяют следующие способы бурения: ударно-канатный и ударно-вращательный, колонковый, вибрационный, шнековый и реже роторный.

Ударно-канатное бурение рекомендуется применять при проходке рыхлых, скальных и полускальных пород, а также в тех случаях, когда не требуется изучать структуру и механические свойства пород.

Ударно-вращательное бурение может быть механическим и ручным. Большими недостатками ручного бурения являются его низкая производительность и трудоемкость. Ударно-вращательное бурение применяют в основном при проходке рыхлых пород, при этом извлекают перемятые, а иногда и перемешанные породы. Для отбора образцов с естественной структурой и влажностью используют грунтоносы.

Колонковое бурение применяется при инженерно-геологических исследованиях наиболее часто и позволяет получать керн с естест-

венной структурой и влажностью. Колонковое бурение используют при проходке скальных и полускальных пород, а также плотных связных и рыхлых пород (в последнем случае сохранность естественной структуры и влажности достигается бурением «всухую», без промывочной жидкости, укороченными рейсами).

Вибрационное бурение весьма производительное и применяется для проходки рыхлых пород, не содержащих значительных включений крупнообломочного материала. Использование в качестве бурильного инструмента специальных зондов позволяет отбирать при этом способе бурения образцы пород с естественной структурой и влажностью.

Шнековое бурение применяют только в рыхлых породах; скорость проходки при нем большая, но оно имеет ряд существенных недостатков: при проходке трудно определять границы различных слоев и фиксировать глубину вскрытия обводненных пород, при извлечении шнека из скважины нарушается структура пород. Поэтому шнековое бурение целесообразно применять в тех случаях, когда требуется вскрытие забоя на ту или иную глубину без подробного изучения проходимых пород.

Роторное бурение применяют в основном при бурении глубоких скважин большого диаметра.

Проходка скважин при всех способах бурения сопровождается тщательным осмотром, опробованием и описанием образцов поднятых пород, замерами глубины появления и установившегося уровня воды.

Если необходим отбор монолитов пород, то конечный диаметр скважин должен быть не менее 127 мм, если же отбора монолитов не требуется — не менее 75 мм. Начальные диаметры бурения определяются заданной величиной конечного диаметра, а также количеством перемен диаметра по глубине скважины при ее обсадке трубами.

Статическое и динамическое зондирование. В последние годы широкое распространение получила проходка выработок методом статического и динамического зондирования (пенетрации). Зондирование позволяет значительно сократить объемы более дорогостоящего картировочного бурения и с достаточной точностью решать следующие задачи: 1) детально расчленять геологический разрез на слои различного литологического состава при наличии опорных скважин; 2) определять консистенцию глинистых пород; 3) определять относительную плотность пород, качественно оценивать степень однородности пород разреза.

Статическое зондирование основано на вдавлении наконечника (конуса) в породы путем приложения статического давления. По скорости погружения наконечника при определенной статической нагрузке можно судить о характере проходимых пород (если заранее сопоставить данные пенетрации с геологическим разрезом опорной буровой скважины). Создано несколько конструкций установок для статического зондирования: зондировочная установка БашНИИстроя С-832, смонтированная на автомашине ГАЗ-63, с

глубиной зондирования до 15 м, установка конструкции ЦНИИСа с разборными узлами (глубина зондирования до 20 м), установка Фундаментпроекта С-979 (глубина зондирования до 15 м) и др.

Кроме того, имеются пенетрационно-каротажные станции (СПК), позволяющие изучать разрез рыхлых песчано-глинистых пород методом пенетрации в сочетании с ядерными методами. Они дают возможность получать в процессе испытаний пород диаграммы (графики) изменения с глубиной естественной радиоактивности, объемной массы, естественной влажности пород, статического сопротивления пенетрации, трения по боковой поверхности. Станции СПК размещаются на автомашинах ЗИЛ-131 и ГАЗ-66 и могут проводить зондирование до глубины 25—30 м.

Динамическое зондирование заключается в измерении сопротивления породы при забивке в нее свободно падающим молотом стального конуса-наконечника. Наконечник диаметром до 74 мм навинчивают на штангу диаметром 42 мм. При забивке конуса измеряют длину интервала, на который погружается наконечник через определенное число ударов молота. Величина погружения наконечника и является условным измерителем динамического сопротивления породы внедрению в нее наконечника. Определяя динамическое сопротивление различных пород по опорной скважине, можно затем по данным динамического зондирования изучать геологический разрез в разных точках исследуемой территории.

Динамическое зондирование до глубины 15 м производят при помощи установок Гидропроекта УБП-15 и УБП-15М, смонтированных на прицепе. Они состоят из складной мачты, механизма для ее подъема, бензинового двигателя Л-6 и лебедки для подъема молота с приводом.

Институтом Киевгипротранс сконструированы автоматические установки для динамического зондирования АДЗ-1С-15 и АДЗ-2Т-25; они смонтированы на базе бурового станка БУКС и предназначены для динамической пенетрации песчано-глинистых пород на глубину соответственно 15 и 25 м. Процесс зондирования и регистрации результатов испытаний полностью автоматизирован.

Горнопроходческие работы. Эти работы имеют преимущество перед бурением скважин, так как горные выработки обеспечивают непосредственный доступ наблюдателя к горным породам для их осмотра, испытания и отбора проб. Однако горнопроходческие работы обходятся значительно дороже бурения скважин.

При инженерно-геологических исследованиях применяют почти все типы горных выработок, известные в геологоразведочном деле; каждый из них служит для решения только определенных задач.

При инженерно-геологической съемке для вскрытия отложений, залегающих под почвенно-растительным слоем, проходят закопашки — мелкие воронкообразные выработки глубиной 0,5—0,8 м. Из закопашек отбирают образцы пород для их описания и определения классификационных показателей (гранулометрического состава, пластичности и др.).

Для вскрытия пластов с крутым падением проходят канавы; их прокладывают перпендикулярно простиранию пластов. Глубина канав может достигать 3 м. Канавы позволяют отбирать образцы пород с ненарушенной структурой и естественной влажностью, делать описания, зарисовки и фотографии условий залегания пород.

Шурфы — вертикальные горные выработки прямоугольного или круглого сечения — проходят в сухих рыхлых породах до глубины 10—12 м, в отдельных случаях — до 30 м. В шурфах можно производить описание пород, их зарисовку и фотографирование, отбирать монолиты с ненарушенной структурой, выполнять специальные опытные работы. Для проходки шурфов сконструированы специальные установки: КШК-30А, КШС-40, БКГМ-66, МРК-1А, ЛБУ-50 и др.

Шахты имеют то же назначение, что и шурфы, но используются для опытных работ более крупных масштабов.

Штольни — горизонтальные горные выработки, которые проходят обычно на склонах речных долин при инженерно-геологических исследованиях для строительства крупных гидротехнических сооружений. Штольни проходят при изучении трещиноватости пород для оценки потерь воды из водохранилища в обход плотины, степени закарстованности пород, крупных оползневых тел и т. д.

Инженерно-геологическое опробование горных пород. Оно представляет собой комплекс последовательных операций по определению состава, состояния и свойств пород.

Опробование осуществляют путем отбора проб пород в горных выработках, буровых скважинах, обнажениях и затем определения их свойств различными способами (лабораторными, полевыми), а также путем определения свойств пород в естественных условиях (например, замеры углов устойчивых откосов и др.). Опробование производят на всех стадиях инженерно-геологических исследований.

Не останавливаясь на специальных вопросах обоснования размещения и количества точек опробования, укажем основные способы отбора образцов горных пород и рекомендуемые массу или объем породы для определения различных физико-механических свойств.

Прежде всего отметим, что следует различать термины «образец», «проба», «монолит».

Образцом называют любой объем породы, отобранный с целью его дальнейшего геологического изучения (визуального описания, химического анализа, изучения под микроскопом и т. д.).

Проба — это строго определенный объем породы, используемый для испытания в лабораторных и полевых условиях с целью определения какого-либо ее показателя: состава, состояния или физико-механических свойств.

Монолитом называют столбик породы в форме куба или цилиндра, отобранный с сохранением ее естественной структуры и влажности. Из монолита можно брать пробы для определения различных физико-механических свойств породы.

Образцы пород отбирают через определенный интервал или шаг опробования. Интервал опробования — это расстояние между пробами по вертикали (по глубине выработки), шаг — по горизонтали.

При отборе образцов горных пород для инженерно-геологических целей рекомендуется применять три метода отбора: точечный, бороздовый и валовой.

Точечный метод заключается в том, что из керна, стенки или дна выработки отбирают небольших размеров пробу с нарушенной или сохранной структурой для определения физико-механических свойств пород. Проба имеет ничтожно малый объем по сравнению с изучаемым массивом пород и, по существу, характеризует только данную точку массива. Значения показателей, определяемых по точечным пробам, могут резко отличаться друг от друга, поэтому для получения достоверных значений показателей, характеризующих весь изучаемый массив горных пород, применяют методы математической статистики.

Бороздовый метод заключается в отборе образца породы с нарушенной структурой из борозды, на всем ее протяжении выдержанной по размерам. Затем образец породы квартуют (т. е. после перемешивания породы ее делят на четыре равные части, берут одну часть, а три части выбрасывают; взятую часть опять квартуют и так поступают до получения пробы нужных размеров), после чего передают в лабораторию для определения того или иного показателя свойств породы. Полученное значение показателя можно рассматривать как среднее для всего участка массива, опробованного бороздой.

При валовом методе пробой служит вся извлеченная из выработки порода. По существу, к валовому методу опробования относятся также испытания пород пробными нагрузками, сдвиг крупных монолитов в шурфах и шахтах и т. п., при которых испытанию подвергаются значительные массивы горных пород в естественном их залегании.

При точечном опробовании пробы отбирают из шурфов и скважин вырезанием, вдавливанием, обивкой или обуриванием (последние три способа требуют применения грунтоносов). Образцы пород отбирают в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТе 12071—72 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов».

В табл. 6 указано, для определения каких показателей свойств пород требуются образцы с нарушенной структурой, для каких — с естественной структурой (монолиты), и необходимое количество породы.

Опытные инженерно-геологические работы. На последних стадиях исследований на площадках, выбранных для строительства особо ответственных сооружений, проводят опытные полевые инженерно-геологические работы для определения деформационных и прочностных характеристик горных пород. Основным преимуществом этих методов является возможность получения данных, характеризующих крупные массивы горных пород в естественных услови-

Таблица 6. Рекомендуемые масса или объем породы для инженерно-геологических проб

Показатели состояния и физико-механических свойств породы	Состав и состояние породы	Масса или объем породы
<i>Физические свойства</i>		
Гранулометрический состав	<p>Глинистые породы нарушенной структуры, не сохранившие естественной влажности, в воздушно-сухом состоянии</p> <p>Супесчаные породы, не сохранившие естественной влажности и структуры</p> <p>Пески в воздушно-сухом состоянии</p>	10—20 г, полученные квартованием из объема 250 см ³
Плотность	Песчано-глинистые породы нарушенной структуры в воздушно-сухом состоянии	10—20 г, полученные квартованием из объема 250 см ³ 100 г, полученные квартованием из объема 1000 см ³ 20—30 г, полученные квартованием из объема 200—300 см ³
Объемная масса	Пески в воздушно-сухом состоянии	250—300 см ³
Естественная влажность	<p>Глинистые породы ненарушенной структуры с естественной влажностью</p> <p>Глинисто-песчаные породы нарушенной структуры с естественной влажностью</p>	Кусочек породы объемом до 150 см ³ или монолит 10 × 10 × 10 см 20—30 г
Максимальная молекулярная влагоемкость	Песчано-глинистые породы нарушенной структуры	50 г, полученные квартованием из объема 500 см ³
Полная влагоемкость	Пески	200—300 г
Граница раскатывания	Глинистые породы, супеси нарушенной структуры в воздушно-сухом состоянии	20—30 г
Граница текучести	То же	60—100 г
Набухание	Глинистые породы ненарушенной структуры с естественной влажностью	Монолит 10 × 10 × 10 см
Размокание	То же	Монолит 5 × 5 × 10 см
Липкость	Глинистые породы нарушенной структуры	50—100 г
Коэффициент фильтрации	<p>Пески и супеси нарушенной структуры</p> <p>Глинистые породы ненарушенной структуры с естественной влажностью</p>	300 см ³ Монолит 10 × 10 × 10 см

Показатели состояния и физико-механических свойств породы	Состав и состояние породы	Масса или объем породы
<i>Механические свойства</i>		
Сжимаемость	Глинистые породы ненарушенной структуры с естественной влажностью	Монолит 25×25×25 см
Сопротивление сдвигу	То же	Монолит 20×20×20 см
Угол естественного откоса	Песок с естественной влажностью в воздушно-сухом состоянии	1200—1500 см ³

ях. Опытные полевые работы требуют больших затрат средств и времени, применения дорогостоящего оборудования.

Для определения деформационных характеристик горных пород (величины осадки при нагрузке) применяют опытные нагрузки в шурфах и скважинах, прессиометрию, крыльчатое зондирование. Прочностные характеристики горных пород определяют путем опытных сдвигов и обрушений целиков пород в шурфах, прессиометрии и крыльчатого зондирования. Целик представляет собой вырезанный с трех сторон в породе блок прямоугольной формы с ненарушенной структурой.

Опытные нагрузки в шурфах и скважинах осуществляют при помощи штампов круглой или квадратной формы площадью 0,06 или 0,5 м². Схема установки для испытания приведена на рис. 56. В процессе опытов нагрузку увеличивают ступенями до стабили-

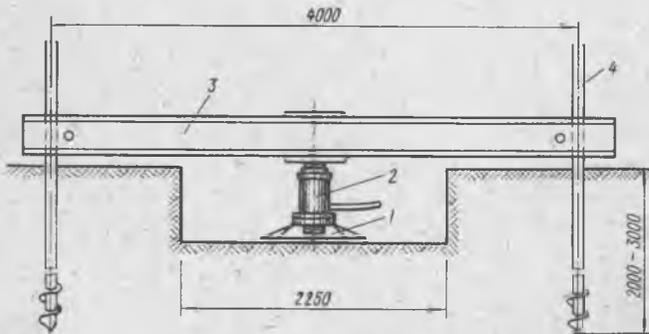
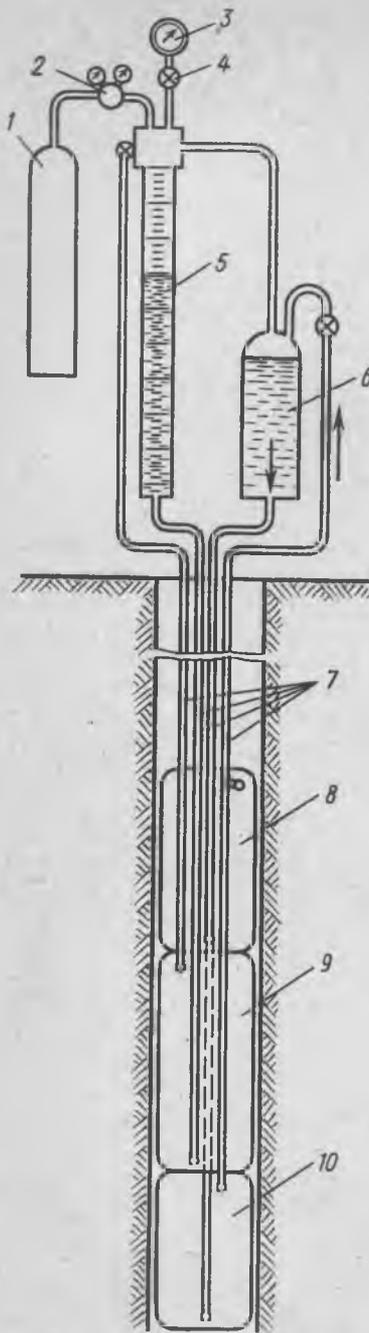


Рис. 56. Схема установки для испытания грунтов в шурфе статической нагрузкой:

1 — круглый штамп площадью 500 см²; 2 — гидравлический домкрат;
3 — продольная опорная балка; 4 — винтовые анкерные сваи



зации осадки от каждой ступени. Считается, что стабилизация достигнута, если приращение осадки за 1 сутки не превышает 1 мм. Испытание доводят до нагрузок, несколько превышающих нагрузку на породу от проектируемого сооружения. По результатам опытов строят графики зависимости осадки от величины нагрузки и по формулам определяют модуль деформации породы.

Опытные испытания прессиометром применяют для определения деформационных и прочностных свойств песчано-глинистых пород в буровых скважинах. Метод заключается в измерении осадки породы, вскрытой в стенке скважины, под действием давления.

В скважину на нужную глубину опускают на шлангах цилиндр с эластичными стенками, разделенный на три камеры: рабочую 9 (рис. 57) и две вспомогательные 8 и 10. Затем прикладывают нагрузку на эластичные стенки и породу путем передачи давления газа от баллона 1 со сжатым воздухом через воду, заполняющую систему. Деформации породы измеряют по измерительному цилиндру 5 через 1 мин до наступления условной стабилизации. После этого задают следующую ступень нагружения. Общее количество ступеней нагружения должно быть не менее 6. По данным испытаний при помощи формул определяют модуль деформации пород, сцепление и угол внутреннего трения.

Рис. 57. Схема прессиометра:

1 — газовый баллон; 2 — редуктор; 3 — манометр; 4 — кран-тройник; 5 — измерительный цилиндр; 6 — бачок; 7 — шланги; 8, 10 — вспомогательные камеры; 9 — рабочая камера

Сопротивление целиков пород в шурфах сдвигающим усилиям определяют при помощи установки, показанной на рис. 58. Опыты по сдвигу целиков пород целесообразно проводить для определения прочностных характеристик неоднородных пород (трещиноватых или слабосвязных песчано-глинистых), из которых невозможно отобрать образцы с ненарушенным сложением. В процессе опыта при различной вертикальной нагрузке определяют горизон-

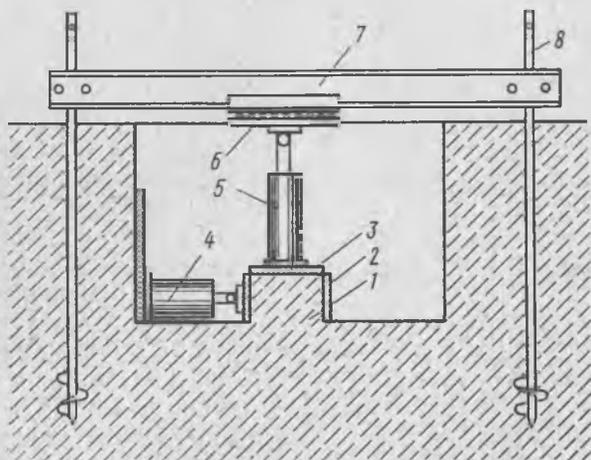


Рис. 58. Схема установки для определения сопротивления целика породы сдвигающим усилиям:
 1 — целик породы; 2 — обойма; 3 — штамп; 4 — горизонтальный домкрат с динамометром; 5 — вертикальный домкрат с динамометром; 6 — плоская шариковая обойма; 7 — упорная балка; 8 — винтовые сваи

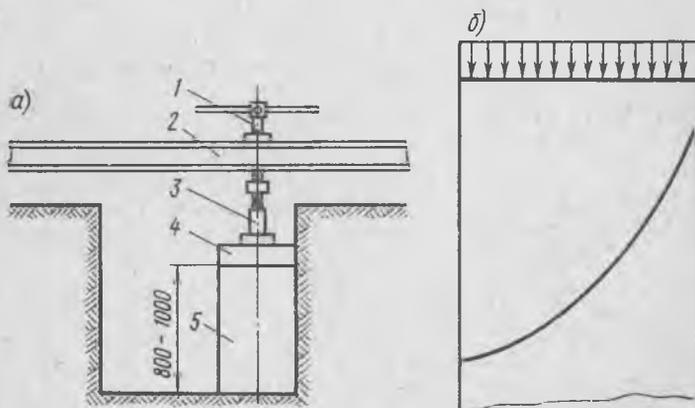


Рис. 59. Схема установки для обрушения целика в шурфе (а) и кривая обрушения (б):
 1 — нажимной винт; 2 — упругая балка; 3 — динамометр; 4 — штамп;
 5 — целик породы

тальное сдвигающее напряжение (в момент разрушения целика породы). После опыта строят график зависимости сдвигающего напряжения от вертикальной нагрузки (диаграмму сдвига), по которой определяют сцепление и угол внутреннего трения.

Обрушение целиков породы при создании на них вертикальной нагрузки производят для тех же условий, что и сдвиг целиков в шурфах. Схема установки для обрушения целика показана на рис. 59, а. После обрушения целика строят кривую, по которой произошло обрушение (рис. 59, б). По результатам двух опытов определяют сцепление и коэффициент внутреннего трения.

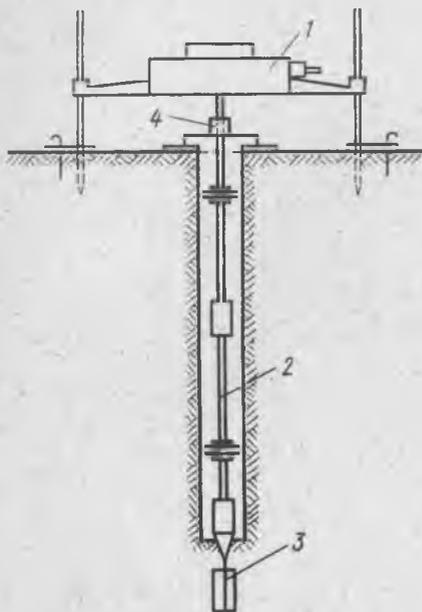


Рис. 60. Схема крыльчатого зонда:
1 — оперативный столик; 2 — штанги; 3 —
крыльчатка, 4 — подвеска

Крыльчатое зондирование применяют для изучения сжимаемости и прочности иловатых и пластичных глинистых пород, не содержащих крупных включений и залегающих на глубине до 20 м. Схема крыльчатого зонда приведена на рис. 60. Рабочим наконечником служит крыльчатка, состоящая обычно из четырех лопастей, которую вдавливают при помощи штанги в испытуемый грунт, а затем поворачивают. При повороте измеряют крутящий момент и определяют угол поворота, соответствующий состоянию среза грунта, затем

по формулам вычисляют модуль деформации породы, сцепление и угол внутреннего трения.

Стационарные наблюдения за осадкой и деформациями сооружений проводят путем периодического описания признаков деформации (появление и расширение трещин, перекосы), а также измерения положения стенных реперов и марок при помощи теодолита или нивелира.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные цели инженерно-геологических исследований для строительства инженерных сооружений?
2. Каковы основные задачи инженерно-геологических исследований для промышленного и гражданского строительства?
3. Каковы основные задачи инженерно-геологических исследований для гидротехнического строительства?
4. Какие работы выполняют при инженерно-геологической съемке?

5. Какие вы знаете особенности и способы бурения инженерно-геологических скважин?

6. Какие основные типы горных выработок применяют при инженерно-геологических исследованиях?

7. Расскажите о способах отбора образцов горных пород при инженерно-геологических исследованиях.

Литература к разделу III

Инженерно-геологические изыскания для строительства гидротехнических сооружений. Под общей ред. Е. С. Карпышева. М., «Энергия», 1972.

Коломенский Н. В., Комаров И. С. Инженерная геология. М., «Высшая школа», 1964.

Коломенский Н. В. Общая методика инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1968.

Седенко М. В. Гидрогеология и инженерная геология. М., «Недра», 1971.

Чаповский Е. Г. Инженерная геология. М., «Высшая школа», 1975.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Раздел I. Основы геологии	8
<i>Глава 1. Общие сведения о Земле</i>	<i>8</i>
§ 1. Форма, размеры, геосферы Земли и строение земной коры	8
§ 2. Понятие об относительном и абсолютном возрасте горных пород	14
<i>Глава 2. Породообразующие минералы и горные породы</i>	<i>21</i>
§ 3. Общие сведения о минералах и их классификации	21
§ 4. Классификация и свойства горных пород	27
§ 5. Магматические горные породы	31
§ 6. Осадочные горные породы	37
§ 7. Метаморфические горные породы	43
<i>Глава 3. Геологические процессы</i>	<i>45</i>
§ 8. Общая характеристика геологических процессов	45
§ 9. Экзогенные процессы	47
§ 10. Эндогенные процессы	65
<i>Глава 4. Геологические карты, профили, колонки</i>	<i>73</i>
<i>Литература к разделу I</i>	<i>77</i>
Раздел II. Гидрогеология	78
<i>Глава 5. Круговорот воды в природе. Вода в горных породах и свойства горных пород по отношению к воде</i>	<i>78</i>
§ 11. Круговорот воды в природе	78
§ 12. Виды воды в горных породах. Понятие о подземных водах и закономерностях их движения	81
§ 13. Свойства горных пород по отношению к воде	89
<i>Глава 6. Происхождение, питание и разгрузка подземных вод</i>	<i>93</i>
§ 14. Происхождение подземных вод	93
§ 15. Питание и разгрузка подземных вод	94
<i>Глава 7. Физические свойства и состав подземных вод</i>	<i>97</i>
§ 16. Физические свойства и характеристики подземных вод	98
§ 17. Состав подземных вод	100
§ 18. Показатели, характеризующие состояние воды	102
§ 19. Химический анализ подземных вод и формы выражения его результатов	103
§ 20. Запись результатов химических анализов. Классификация химического состава подземных вод	105
§ 21. Требования к качеству подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения	107
§ 22. Понятие о минеральных, промышленных и термальных водах	108

<i>Глава 8.</i> Верховодка, грунтовые и напорные воды. Подземные воды в трещиноватых и закарстованных породах	109
§ 23. Верховодка и грунтовые воды	110
§ 24. Напорные воды	114
§ 25. Подземные воды в трещиноватых и закарстованных породах	118
<i>Глава 9.</i> Гидрогеологические наблюдения при бурении скважин, способы изоляции водоносных горизонтов при бурении и гидрогеологическом опробовании скважин	121
§ 26. Гидрогеологические наблюдения при бурении скважин	122
§ 27. Способы изоляции водоносных горизонтов	125
<i>Глава 10.</i> Полевые опытно-фильтрационные работы и стационарные гидрогеологические наблюдения	129
§ 28. Откачки из скважин	130
§ 29. Опытные наливы и нагнетания в скважины	134
§ 30. Опытные наливы в шурфы	138
§ 31. Определение направления и скорости движения подземных вод	140
§ 32. Стационарные гидрогеологические наблюдения	144
Литература к разделу II	148
Раздел III. Инженерная геология	149
<i>Глава 11.</i> Инженерно-геологические свойства горных пород	149
§ 33. Инженерно-геологические классификации горных пород	149
§ 34. Физические свойства горных пород	152
§ 35. Механические свойства горных пород	157
§ 36. Искусственное изменение инженерно-геологических свойств горных пород	163
<i>Глава 12.</i> Инженерно-геологические исследования	167
§ 37. Требования к исследованиям на различных стадиях проектирования	167
§ 38. Состав инженерно-геологических исследований	172
Литература к разделу III	185

Кононов В. М. и др.
К 64 Основы геологии, гидрогеологии и инженерной геологии: Учеб. пособие для проф.-техн. училищ/В. М. Кононов, А. М. Крысенко, В. М. Швец. — М.: Высш. школа, 1978. — 187 с., ил. (Профтехобразование. Геология).

В книге изложены современные представления общей геологии о строении Земли, ее геологической истории, основных типах горных пород и условиях их образования, о геологических процессах и явлениях; рассмотрены основные гидрогеологические и инженерно-геологические условия верхней части земной коры и методы их изучения и документации в процессе проведения геологоразведочных работ и специальных изысканий и др.

Книгу написали: «Введение», главы 5, 8, 9, 10, 11 — канд. геолого-минералогических наук В. М. Кононов; главы 1—4, 12 — канд. геолого-минералогических наук А. М. Крысенко; главы 6, 7 — доктор геолого-минералогических наук проф. В. М. Швец.

К $\frac{20806-212}{052(01)-78}$ 6-78

ББК 26.3
552

Валерий Митрофанович Кононов,
Анатолий Михайлович Крысенко,
Владимир Михайлович Швец

ОСНОВЫ ГЕОЛОГИИ, ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Научный редактор М. П. Толстой. Редактор Е. А. Ляхович. Художник В. В. Гарбузов. Художественный редактор В. П. Бабилова. Технический редактор З. В. Нуждина. Корректор В. В. Краснов

ИБ № 1392

Изд. № ППМ—285. Сдано в набор 15.10.77. Подп. к печати 21.03.78. Т—03661. Формат 60×90^{1/16}. Бум. тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Объем 12 усл. п. л. 13,01 уч.-изд. л. Тираж 15 000 экз. Зак. 801. Цена 30 коп.

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.