

Е.И. ОКОЛО-КУЛАК

ИНЖЕНЕРНАЯ
ГЕОЛОГИЯ

РЕЧИЗДАТ • 1948

62:550:626/7
0-51

Е. И. ОКОЛО-КУДАК

ДОЦЕНТ, КАНДИДАТ ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

*Допущено ГУУЗОм Министерства Речного флота
СССР в качестве учебника для факультетов вод-
ных путей и портов институтов инженеров
водного транспорта*



ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА РЕЧНОГО ФЛОТА СССР
ЛЕНИНГРАД 1948 МОСКВА



1098
~~9650~~

Книга «Инженерная геология» составлена по программе Ленинградского института инженеров водного транспорта и может служить учебником для студентов институтов водного транспорта и других ВТУЗов с гидротехническим уклоном, а также может быть использована в качестве пособия при производстве работ.

200

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга написана по инициативе кафедры строительных работ и оснований и фундаментов Ленинградского института инженеров водного транспорта, по программе этого института, чем определялись ее объем и содержание. Она должна служить учебником как для студентов институтов водного транспорта, так и для студентов других ВТУЗов с гидротехническим уклоном. Главной задачей автора при составлении книги являлось изложение лекционного материала в объеме утвержденной программы, не перегружая учебник второстепенными вопросами и излишними деталями. Стремясь дать студентам необходимые для их практической деятельности знания по инженерной геологии в возможно более сжатом и легко усвояемом виде, автор в то же время избегал излишней конспективности изложения, так как чрезмерная сухость материала, безусловно, сделала бы его усвояемость более трудной.

Учебник по содержанию подразделяется на пять частей. В части I приведены основные сведения о строении Земли, дано описание главнейших породообразующих минералов и наиболее распространенных горных пород, а также отмечена роль, которую они играют в строительном деле. Одновременно изложены методы полевого макроскопического определения минералов и пород. Эти методы студенты усваивают на минералогических и петрографических коллекциях при прохождении курса и в полевой обстановке во время специальной учебной экскурсии. Полевая практика имеет очень важное значение, и можно с уверенностью сказать, что никакой курс геологии для инженеров не будет полным без наблюдений в поле. В частях II и III учебника охарактеризована геологическая деятельность эндогенных и экзогенных сил земли и их влияние на различные инженерные сооружения. В части IV изложены методы геологических исследований и специальных инженерно-геологических изысканий под отдельные виды сооружений, встречающихся на водном транспорте и на прочих гидротехнических строительствах. Кроме

того, приведены основные сведения о поисках, разведке, опробовании и оценке месторождений каменных строительных материалов, которые необходимы при производстве строительных работ. В части V с возможной полнотой дан анализ устойчивости инженерных сооружений в разных геологических условиях и приведены примеры из опыта строительства в СССР и за границей.

В соответствии с задачей дать учебник инженерной геологии для гидротехнических специальностей, в нем главное внимание уделено зависимости нормальной работы гидротехнических сооружений от инженерно-геологических условий в месте их возведения.

Сведения из механики грунтов приведены только в том объеме, который необходим для понимания излагаемого в учебнике материала.

В списке литературы указаны только изданные ранее учебники инженерной геологии и наиболее крупные работы, которые могут служить справочниками или дополнительными пособиями для лиц, желающих углубить свои знания.

Введение

ПРЕДМЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Слово геология состоит из двух греческих слов: *geo* — земля и *logos* — слово, рассказ, история. Следовательно, в буквальном смысле, геология есть повествование о Земле в историческом разрезе. Как самостоятельная наука, она оформилась только в конце XVIII века, хотя отдельные геологические идеи существовали уже в глубокой древности.

Геология изучает строение Земли, слагающий ее материал, вместе с окаменелыми остатками животных и растений, и те процессы, которые постоянно изменяют лик Земли. На основании фактического материала, геология устанавливает историю жизни Земли с того момента, когда Земля стала существовать как планета в солнечной системе. Для достижения этой цели геология пользуется данными химии, физики, астрономии, физической географии, гидрологии, ботаники и целого ряда других естественно-исторических наук, с которыми она тесно соприкасается.

В сравнительно короткий срок своего существования геология очень быстро развилась и в настоящее время подразделяется на целый ряд отдельных дисциплин. Главнейшими из них будут следующие:

Космогония — изучает положение Земли в солнечной системе и во вселенной в целом, а также происхождение Земли и первые этапы ее жизни.

Минералогия — изучает физические и химические свойства отдельных твердых однородных составных частей, слагающих Землю и называемых минералами.

Петрография — изучает строение и происхождение горных пород, которые представляют собою скопление минералов.

Физическая геология — исследует геологические процессы, которые создают и видоизменяют внутреннее строение земли и рельеф ее поверхности.

Палеонтология — изучает, по окаменелостям животных и растений, развитие органической жизни на земле от ее зарождения до настоящего времени.

Стратиграфия или историческая геология — изучает формы залегания горных пород, распространение, изменение и чередование их в горизонтальном и вертикальном направлениях. Вместе с данными палеонтологии это дает возмож-

ность установить относительный возраст различных горных пород.

Геоморфология — определяет зависимость форм рельефа от характера горных пород и тех процессов, которые принимали участие в его формировании.

Полевая геология — изучает методы полевых геологических исследований и необходимое для их выполнения снаряжение.

В самое последнее время, на базе перечисленных дисциплин, возникли новые самостоятельные ветви геологических знаний: гидрогеология, грунтоведение, механика грунтов, геотехника и инженерная геология.

Гидрогеология — изучает подземные воды, грунтоведение — физические и химические свойства грунтов, механика грунтов — работу грунтов под влиянием внешней силы и геотехника — условия работы грунтов применительно к конкретному типу сооружения. Все эти дисциплины стремятся дать цифровые характеристики свойств горных пород. Пользуясь ими, а также описательными геологическими дисциплинами и геофизическими методами исследований, инженерная геология устанавливает условия возведения сооружений и возможные деформации, которые могут иметь место в дальнейшем, вследствие неустойчивости естественных земляных масс. Для того, чтобы правильно запроектировать мероприятия, обеспечивающие устойчивость сооружения, необходимо изучить и оценить с инженерной точки зрения геологические процессы, гидрогеологические условия и физико-технические свойства грунтов в районе строительства, что и является главной задачей инженерной геологии.

Инженерная геология как научно-прикладная дисциплина оформилась у нас только после Великой Октябрьской социалистической революции. До этого времени она не имела определенного лица. Геологи, как правило, приглашались только в качестве экспертов для установления причин разрушения отдельных сооружений и выработки мероприятий по борьбе с сильными деформациями. Такие случаи часто имели место на железных дорогах, строившихся без учета геологического строения местности.

Во время проектирования и возведения сооружений геологи привлекались лишь для очень крупных и весьма ответственных строений, которые располагались на неустойчивых береговых склонах или в других явно неблагоприятных условиях. Заключение геологов в это время носило описательный характер с качественной характеристикой свойств горных пород и геологических процессов, от которых зависела устойчивость сооружений. Кроме того, геолог очень часто слабо представлял себе, как работает сооружение и какие геологические факторы имеют в данном случае наиболее важное значение. Это еще более снижало ценность заключений, так как строитель часто не находил

в них ответа на интересующий его вопрос. С другой стороны, инженеры-строители имели общее, весьма смутное представление о геологии и не могли достаточно конкретно и ясно поставить вопрос перед геологом. Это лишало инженеров и геологов общего языка, в результате чего не всегда удавалось достигнуть того взаимопонимания, которое необходимо между проектировщиком и геологом для плодотворной работы во время составления проекта.

После Великой Октябрьской социалистической революции строительные работы в СССР достигли небывалого размаха. Размеры отдельных сооружений все время возрастали, а строительные конструкции усложнялись. В связи с этим от геологов стали требовать более конкретной оценки свойств пород и к тому же, по возможности, количественной. Для удовлетворения этих требований стали производить опытные исследования физико-технических свойств горных пород как в поле, так и в лабораторных условиях. В результате возникла новая дисциплина — механика грунтов. Одновременно при гидрогеологических исследованиях стали также уделять большое внимание опытным работам. Составленные на базе полученных таким образом данных инженерно-геологические заключения носят теперь вполне конкретный характер, а степень точности их находится в соответствии с детальностью проведенных исследовательских работ. Крупные проектные организации и стройки в настоящее время обслуживаются не отдельными геологами, а специально организованными инженерно-геологическими секторами, которые составляют неотъемлемую часть технических отделов. Для обеспечения инженерно-геологическими исследованиями и консультацией менее крупных строительных объектов имеются специальные исследовательские бюро и тресты, которые проводят весь комплекс изыскательских работ и результаты их представляют в виде обстоятельных отчетов.

В строительных учебных заведениях введено преподавание инженерной геологии и механики грунтов, благодаря чему строители в настоящее время ясно представляют себе, насколько важно правильно учитывать геологические условия при проектировании сооружений. Это приводит к более высокому качеству проектов, в результате чего с каждым годом уменьшается количество аварий и снижается стоимость строительных работ. Таким образом сторичей окупаются расходы, связанные с производством инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий.

Геологические факторы, влияющие на устойчивость сооружений, так же разнообразны и многогранны, как разнообразно строение Земли и те процессы, которые происходят на ее поверхности и на глубине. В каждом отдельном случае они имеют свои индивидуальные черты и требуют специального изучения. Трафаретов в данном случае указать нельзя, а можно только говорить о наиболее часто встречающихся причинах раз-

рушения сооружений. Основным положением во всех случаях является то, что всякое мероприятие человека, как постройка здания, плотины, канала и т. п., нарушает равновесие земляных масс и ход тех геологических процессов, которые имеют место в том или другом случае. Следовательно, для обеспечения устойчивости сооружения нужно, чтобы эти нарушения земляных масс были возможно меньшими. Можно выделить четыре основных типовых случая, когда произойдет разрушение сооружения.

1. Сооружение возводится на грунтовом массиве, который уже до начала строительных работ находился в движении или



Рис. 1. Разрушение оползнем экспланады и лестницы Приморского парка в Сочи.

в неустойчивом равновесии. Подобные случаи наиболее часты на косогорах, где слагающие их грунты настолько медленно перемещаются вниз по склону, что установить это движение можно только путем специальных наблюдений и исследований. Примером этого может служить один из участков железной дороги в СССР. Здесь путь, уложенный вдоль сползающего берега реки, все время деформируется и требует постоянного ремонта, который сильно увеличивает эксплуатационные расходы. Также показательны разрушения сооружений в Крыму, на Черноморском побережье (рис. 1) и в других местах нашего Союза и за границей. В данном случае, прежде чем строить, необходимо принять меры по приведению грунтового массива в устойчивое равновесие. Рациональные мероприятия могут быть запроектированы,

конечно, только в том случае, если будут выяснены причины неустойчивости, что может быть достигнуто только путем специальных геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических изысканий и длительных наблюдений.

2. *Нормальный ход геологических процессов нарушается строительством настолько, что сооружение не в состоянии противостоять их разрушительной силе или эти процессы и без того настолько интенсивны, что в короткий срок выводят сооружение из строя.* Особенно сильно меняются условия геологической деятельности поверхностных и подземных вод при возведении

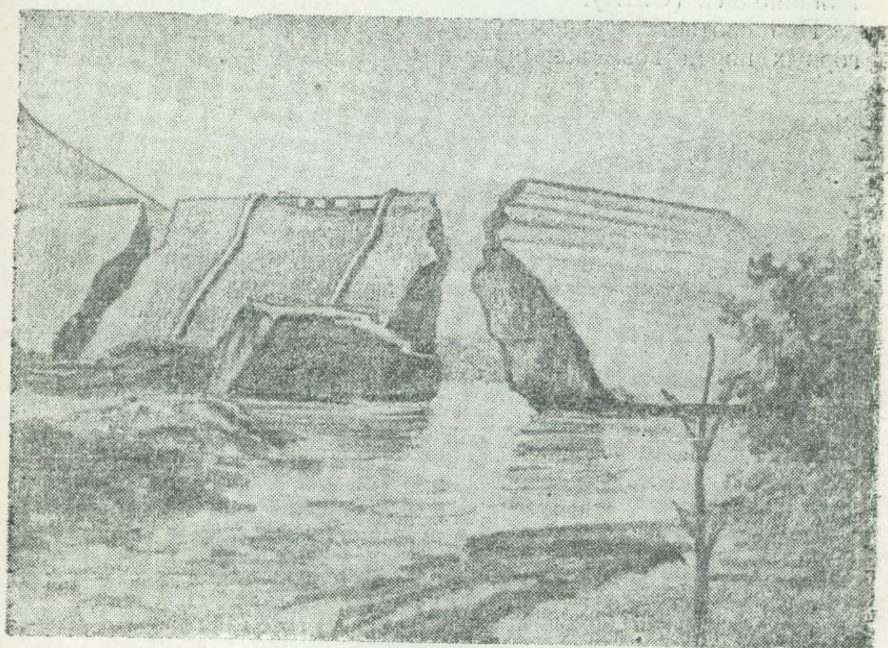


Рис. 2. Плотина Аустин после разрушения

плотин. Разрушительные процессы, которые они производят в основании сооружения или в горных породах рядом с ним, приводят к ослаблению связи тела плотины с сопредельными грунтами. Плотина не выдерживает сдвигающего давления со стороны верхнего бьефа, происходит сдвиг сооружения и катастрофический прорыв воды, сопровождающийся разрушением плотины. Хорошим примером может служить плотина на р. Колорадо, построенная для обеспечения электроэнергией города Аустин (США). В течение восьми лет происходил подмыв пород под плотинной, результатом которого был прорыв плотины, полное разрушение центрального блока и сдвиг соседних блоков на расстояние до 20 м (рис. 2).

Катастрофа произошла потому, что неблагоприятные геологические условия не были в достаточной мере учтены до постройки плотины. Но даже в этом случае разрушение плотины можно было бы предотвратить своевременными мероприятиями, если бы уделялось должное внимание тем процессам, которые постепенно уменьшали устойчивость сооружения.

В некоторых случаях разрушение плотины происходит и при достаточно хорошем сопряжении ее с основанием, — вследствие скольжения горной породы, служащей основанием. По этой причине 8 августа 1912 г. разрушилась плотина на р. Огайо, около Галлиполиса (США).

При соответствующем строении и степени разрушенности горных пород возможен прорыв воды в обход тела плотины.

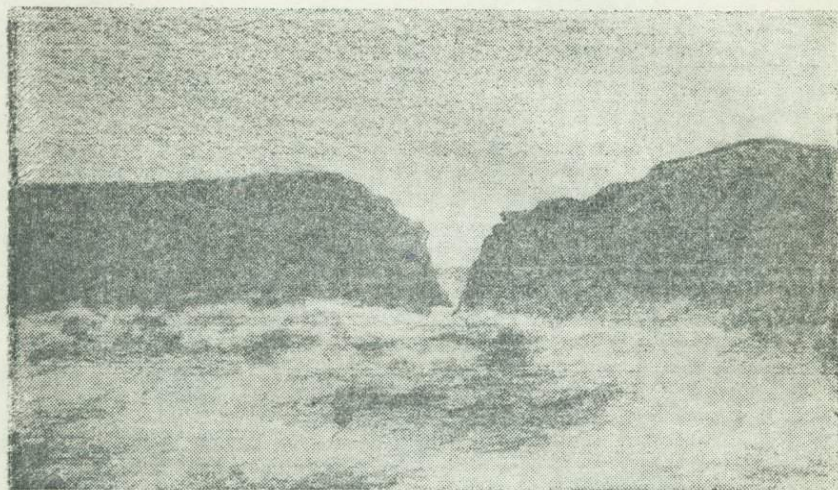


Рис. 3. Промыв мыса у порога Ужмы на р. Кемь,

Особенно показателен в этом отношении прорыв мыса у порога Ужмы на р. Кемь в Карело-Финской ССР. Порог Ужмы представляет лучшее место для сооружения плотины на р. Кемь и на нем были организованы инженерно-геологические изыскания, во время которых произошел катастрофический прорыв мыса, поддерживающего напор в 12 м (рис. 3). Река устремилась по новому руслу и вопрос сооружения плотины отпал. Если бы процесс разрушения мыса закончился несколько позже и прорыв его произошел после постройки плотины, то тогда катастрофа принесла бы огромные убытки. На данном примере ясно видно, насколько тщательно нужно проводить инженерно-геологические изыскания и насколько ответственные задачи они должны решать. Так же хорошо видно, что исследования необходимы не только на месте возведения сооружения, но и на всей территории, где может сказаться его влияние.

3. Горные породы под сооружением разрушаются или сильно уплотняются вследствие чрезмерной нагрузки. При этом наблюдается опускание — осадка сооружения, которая обычно не является равномерной, что объясняется различными нагрузками под разными частями сооружения и неоднородным строением грунтов. Если нагрузка на грунт сильно превышает его несущую способность, то рядом с нагруженной площадью наблюдается выпирание грунта. Неравномерные осадки нарушают устойчивость сооружения, вызывают образование трещин и обуславливают перекосы, в результате которых прекращается безотказная работа механизмов.

Каких огромных размеров могут достичь осадки и связанные с ними перекосы, показывает пользующаяся мировой известностью наклонная башня в городе Пизе в Италии (рис. 4). Она строилась с перерывами с 1174 по 1350 г., причем оседание ее началось тогда, когда она была выстроена только на высоту 11 м и продолжается в настоящее время, со скоростью 2 мм в год. При высоте башни в 54,5 м за 773 года она осела с одной стороны на 3,2 м, а с другой — на 1,6 м, что вызвало отклонение вер-

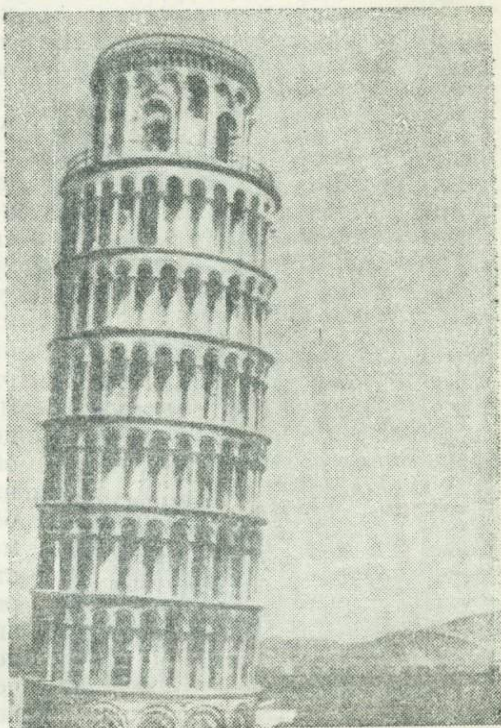


Рис. 4. Наклонная башня в г. Пизе (Италия).

шины башни от вертикали на 0,48 м. Примером значительных неравномерных осадков может служить также Антирелигиозный музей (б. Исаакиевский собор) в Ленинграде. Осадки его достигли 30—40 см, в связи с чем наблюдается перекося колонн и образование трещин.

В некоторых городах (Бостон, Чикаго, Шанхай) целые городские районы оседают. Здесь только после тщательного и длительного исследования можно будет решить, какие конструкции фундаментов будут наиболее подходящими с технической и экономической точки зрения.

Слабые конструкции при больших осадках сильно деформируются и, в конце концов, полностью разрушаются, как это

имело место с колокольной собора святого Марка в Венеции, разрушившейся в 1902 г. (рис. 5).

4. *Неустойчивые горные массивы рядом с сооружением являются причиной его разрушения.* Такие случаи наиболее часто встречаются в горных местностях, где огромные массы горных пород обрушиваются с обрывистых скал и крутых склонов. Грандиозные обвалы сметают все на своем пути, разрушая и инженерные сооружения, хотя бы они были построены на очень

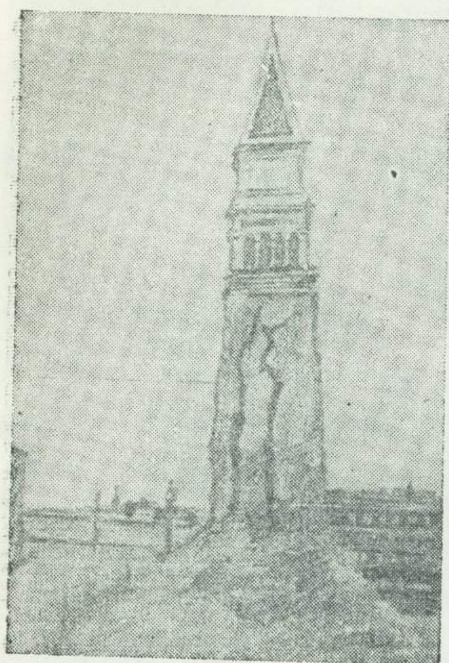


Рис. 5. Колокольня собора святого Марка в Венеции в момент разрушения.

Примером печальных последствий упрощенного подхода к инженерно-геологическим вопросам может служить бетонная плотина Порт-Анжелос в штате Вашингтон. Она была сооружена на рыхлых, сильно фильтрующих наносах и только после ее разрушения было обнаружено, что на незначительной глубине залегает крепкая скала.

В качестве примера неправильного составления проекта, вследствие недостаточно тщательного проведения изысканий, можно указать на случай с одним из химических комбинатов. Из заключения следовало, что на площадке имеются плотные глины, допускающие нагрузку до 4 кг/см^2 . Однако стены газгольдеров, которые еще не были даже выведены на всю высоту,

крепких грунтах. Снежные лавины часто также производят большие опустошения.

Из большого числа аварий, которые известны в строительной практике, большинство произошло из-за неблагоприятных геологических условий. Между тем, при достаточном знании этих условий и умении оценить их воздействие на сооружения, катастрофических аварий и значительных деформаций, выводящих из строя дорогостоящие строительные объекты, можно было бы избежать. Для этого потребовалось бы только своевременное применение соответствующих инженерных мероприятий. Раньше многие аварии происходили из-за недооценки влияния геологических факторов на устойчивость сооружений и полного игнорирования их, а в настоящее время из-за недостаточного объема изысканий.

начали деформироваться с образованием сквозных трещин. Контрольные исследования показали, что в основании сооружений залегают не плотные глины, а пористые лессовидные суглинки. Аварии удалось избежать только срочно принятыми мерами — заменой неразрезных конструкций разрезными и снижением допускаемых нагрузок. Такая перестройка на ходу, естественно, отразилась на стоимости и на сроках строительства.

Не менее показателен случай на стройке дома Центросоюза в Москве. На основании только одной буровой скважины было сделано заключение, что на площадке на большую глубину имеются насыпные грунты. Такое положение вещей побудило запроектировать свайное основание. Однако, когда при планировке площадки был снят верхний слой, обнаружилось, что на месте строительства развиты плотные горные породы, а скважина попала в засыпанную мусором поглощающую яму 4×4 м в сечении. Если бы проектирующие инженеры более критически отнеслись к представленным им инженерно-геологическим материалам, они бы не согласились проектировать здание на основании данных только одной скважины и подобный случай не мог бы иметь места.

Знания о строении Земли и о происходящих геологических процессах необходимы при любом инженерном мероприятии. Однако условия применения этих знаний будут видоизменяться в зависимости от рода строительства и его назначения. В соответствии с этим различают инженерно-геологические условия для гидротехнических сооружений (плотины, водохранилища, каналы, порты и т. п.), гражданских сооружений, железных дорог, грунтовых дорог, водоснабжения, туннелей и горных выработок. Кроме того, геология со времени первой мировой империалистической войны стала широко применяться в военном деле и оформилась в виде военной геологии. Не менее широко применяется геология и в других, самых разнообразных областях народного хозяйства.

Плодородие почв, которое имеет первостепенное значение в сельском хозяйстве и лесоводстве, зависит от характера горных пород и гидрогеологических условий. Поэтому часто только при участии геолога можно решить вопросы целесообразности мероприятий по повышению урожайности почв и возможности освоения неводелываемых площадей. Вопросы осушения заболоченных пространств и орошения в сухих районах не могут быть также правильно решены без геологической консультации и необходимых инженерно-геологических изысканий. Так например, для выбора расстояния между отдельными дренажными канавами необходимо знать водопроницаемость пород, в которых они прокладываются. Не говоря уже о важности использования геологии при устройстве гидротехнических сооружений на оросительной сети, нужно сказать, что и оценка пригодности воды для орошения потребует участия гидрогеолога. Ценность воды будет зависеть от количества питательных веществ в ней.

и от температуры. Вода источников может быть чрезмерно холодной и бедной питательными веществами, вода же рек будет содержать тем больше питательных веществ, чем медленнее ее течение и чем больше населенных пунктов расположено на ней. Однако вода, сбрасываемая некоторыми заводами, вредна для посевов. Питательность воды будет также зависеть от характера тех пород, в которых она протекает. Добыча и применимость тех или иных минеральных удобрений в свою очередь требует геологических знаний. При колонизации новых районов, выбор места для поселений и городов, кроме оценки пригодности грунтов под основания зданий, связан с вопросами водоснабжения, обеспечения строительными материалами, отводом нечистот, устройством кладбищ и т. д. Аналогичные вопросы возникают и при расширении существующих городов и могут быть удовлетворительно разрешены только при знании инженерно-геологических условий.

Пригодность площадей под поля орошения для сбрасывания нечистот из канализационной сети зависит от слагающих их грунтов. Наиболее пригодны рыхлые, легко пропускающие воду грунты, причем вода в них должна залегать на глубине не менее 1,5 м от поверхности.

Выбор места под кладбище и необходимая глубина могил обуславливаются геологическим строением местности, типом грунтов и гидрогеологическими условиями. В результате неправильного выбора может происходить заражение вод в колодцах разлагающимися трупами.

Изучать каждому инженеру весь комплекс геологических дисциплин и применение геологии к самым разнообразным областям инженерного дела и народного хозяйства нет надобности. Однако, для того, чтобы быть полноценным специалистом в своей области, каждый инженер должен иметь вполне ясное представление о строении Земли и тех процессах, которые все время меняют ее облик. Он должен хорошо знать, какими методами можно получить необходимые инженерно-геологические сведения и как правильно использовать их при оценке устойчивости сооружений, в проектировании и возведении которых ему придется принимать участие во время всей практической деятельности. В данном случае это будут: плотины, водохранилища, каналы и сооружения на них, туннели, порты, морские и речные вокзалы и технические здания на водном транспорте. Кроме того, инженеру-строителю любой специальности необходимо знать методы поисков и разведки месторождений разных строительных материалов для правильной организации их разработки и оценки качества сырья.

Часть I

СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ

Земля в мировом пространстве

Земля, на поверхности которой мы живем, входит в число девяти планет, вращающихся вокруг Солнца по орбитам, имеющим форму эллипсов. Совершая свой путь вокруг Солнца за 365 суток с четвертью, Земля в то же время вращается вокруг своей оси, которая наклонена к орбите под углом в $66^{\circ}30'$. Так как такое положение земная ось сохраняет все время, то сол-

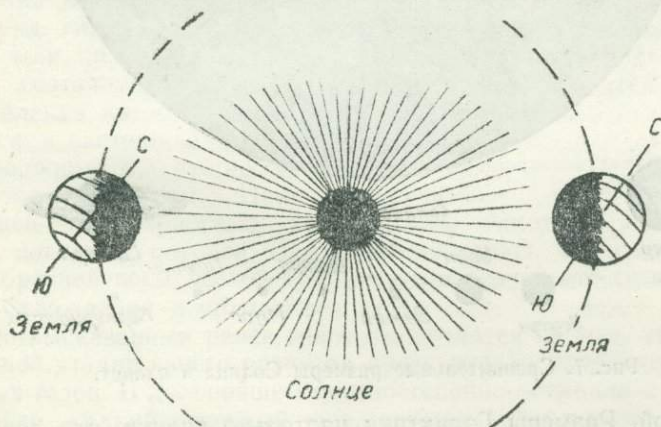


Рис. 6. Вращение Земли вокруг Солнца.

нечные лучи освещают одну половину года, главным образом, северное полушарие, а другую — южное (рис. 6). От этого в течение года меняется количество тепла и света, падающего на одну и ту же территорию, и происходит смена времен года. Солнце гораздо больше всех планет вместе взятых (рис. 7), и его диаметр в 109,5 раза больше диаметра Земли, который в среднем равен 12 742 км. Несмотря на то, что Солнце находится на расстоянии 150 млн. км от Земли, влияние его на

Землю огромно. Солнечное тепло обогревает земную поверхность, делая возможной жизнь организмов. В результате притяжения Солнца, Земля вращается вокруг него и возникают морские приливы и отливы.

Солнце, в свою очередь, вращается вокруг центральной части грандиозного скопления звезд, называемого Млечным путем или

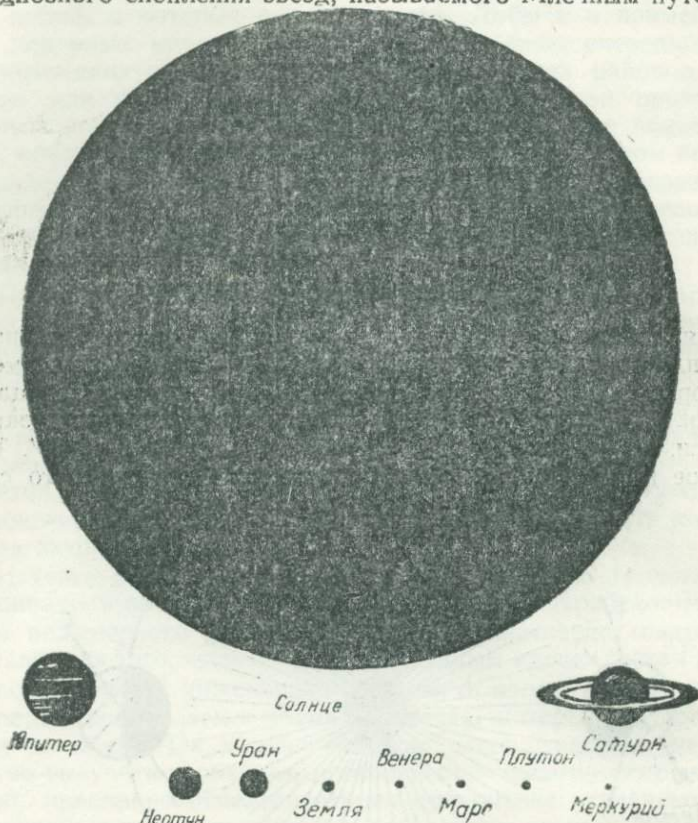


Рис. 7. Сравнительные размеры Солнца и планет.

Галактикой. Размеры Галактики настолько велики, что свет от одного ее края до другого проходит примерно в 100 тысяч лет. Солнце является рядовой звездой среди миллиардов звезд Галактики и движется со скоростью около 300 км в секунду, т. е. около 26 млн. км в сутки. Однако, как ни огромны размеры Галактики, она есть только отдельный звездный остров среди бесконечного мирового пространства. В 1925 г. были обнаружены другие галактики, самая ближайшая из которых отстоит от нашей на расстоянии около миллиона светов лет.¹ Расстоя-

¹ Световой год равен расстоянию, которое свет проходит в один год. — 26 миллиардов километров.

ние же до более отдаленных галактик измеряется сотнями миллионов световых лет, т. е. мы видим их такими, как они выглядели сотни миллионов лет тому назад. Большинство галактик представляются в виде светящихся туманностей спиральной формы (рис. 8). Они состоят из миллиардов отдельных пылиннок, каждая из которых является самостоятельной солнечной системой. Трудно себе представить, насколько ничтожной по своим размерам и значению пылинкой является в мировом пространстве Земля, та самая Земля, которую еще несколько сот лет тому назад рассматривали, как центр вселенной, как объект особого внимания бога, создавшего ее.

Происхождение Земли

0596
1098

Пытливый ум человека уже давно пытается объяснить происхождение Земли. После открытия истинного строения мира был предложен ряд гипотез образования земли, но ни одна из них не в состоянии объяснить все явления, которые наблюдаются в настоящее время, и вопрос, в сущности, остается открытым. Наибольшей популярностью пользовалась гипотеза Канта-Лапласа, согласно которой Земля образовалась из раскаленной газообразной космической туманности в результате ее постепенного охлаждения и уплотнения.



Рис. 8. Спиральная туманность.

Все высказанные ранее гипотезы сходятся на том, что Земля в первой стадии своего развития представляла скопление раскаленных газов. В дальнейшем она постепенно остывала и превратилась в жидкий огненный шар, вращающийся вокруг Солнца. Более тяжелые вещества скоплялись у центра Земли, а более легкие оставались на поверхности. Пары и газы, выделявшиеся из огненно-жидкой Земли, сплошной оболочкой окружали ее.

При дальнейшем остывании, на поверхности Земли образовалась тонкая корка, как это наблюдается в доменных печах, где на поверхности скапливаются шлаки за счет всплывающих более легких веществ. Тонкая твердая корка все время прорывалась мощными извержениями раскаленных масс из более глубоких частей Земли. Эти выбросы в виде огромных факелов поднимались над поверхностью Земли, как это можно наблюдать в на-



стоящее время на Солнце. Постепенно твердая кора покрыла всю земную поверхность, а выбросы огненно-жидких и газообразных масс становились все реже и реже и происходили с меньшей силой.

Постепенно остывала также газовая оболочка, на Землю начали выпадать горячие соленые дожди и образовались океаны и моря. В это время все же земная кора часто разрывалась и на поверхность изнутри Земли изливалась горячая расплавленная масса, при соприкосновении которой с водой образовывались огромные взрывы и облака паров. В процессе дальнейшего охлаждения газовая оболочка по составу и характеру постепенно приближалась к современной, твердая кора становилась толще, и на поверхности ее, в морях и на суше, начала зарождаться органическая жизнь. Процесс охлаждения Земли далеко еще не окончен. Извержения расплавленной лавы из вулканов и целый ряд других фактов указывают на то, что Земля в своих недрах имеет огромный запас тепла.

О том, как выглядела Земля в прошлом, можно судить по Солнцу и планете Венера, которая окутана плотной газовой оболочкой. Какое будущее ждет Землю, дает представление ее ближайший сосед—Марс. Атмосфера на Марсе сильно разрежена и содержит небольшое количество кислорода и влаги, так что облака на Марсе наблюдаются очень редко. Там сухой, резко континентальный климат; днем поверхность планеты нагревается до плюс 10° , а ночью остывает до минус 70° . В глубокой старости Земля будет таким же телом, как и ее спутник — Луна, на которой нет ни атмосферы, ни органической жизни.

Общие сведения о строении и свойствах Земли

Схематически Землю в настоящем ее состоянии можно представить состоящей из ряда объемлющих друг друга концентрических оболочек. Отдельные оболочки сильно разнятся по составу и свойствам, но в то же время не являются независимыми друг от друга, будучи частями одного целого. От периферии к центру, Земля подразделяется на следующие оболочки, или сферы: атмосфера, гидросфера, литосфера, барисфера, переходная зона и ядро.

А т м о с ф е р а представляет собой газовую оболочку, которая, слоем более 700 км толщиной, окружает Землю и давит на ее поверхность с силой 1 кг/см^2 . По своему составу она отличается постоянством и в основном состоит из 78% азота и 21% кислорода по объему. Остающийся 1% приходится на прочие газы, среди которых главную роль играет углекислый газ, который имеет большое значение для жизни растений. Кроме этих газов, в атмосфере на высоте до 10 км над полюсами и 17 км над экватором присутствует водяной пар, количество которого в воздухе сильно меняется. В жаркую влажную погоду оно может достигать до 4% по объему, а при сильных холодах сни-

жается до нуля. В пределах этого нижнего слоя, называемого тропосферой, образуются туман, облака и дожди. Тропосфера пропускает солнечные лучи, которые нагревают землю, но в то же время, вследствие наличия водяного пара, задерживает тепло, идущее от земной поверхности. Таким образом, она служит оболочкой, предохраняющей землю от чрезмерного охлаждения.

Плотность и температура воздуха в пределах тропосферы закономерно понижаются с увеличением высоты. Высота, на которую необходимо подняться, чтобы температура воздуха снизилась на 1°C , называется аэротермической ступенью и равна 50—100 м, в зависимости от ряда местных факторов, влияющих на согревание воздуха.

Слой атмосферы, расположенный над тропосферой, называется стратосферой. Он не содержит водяных паров, имеет небольшую плотность и характеризуется резким снижением температуры. Максимальная высота в 22 км, на которую удалось подняться человеку в стратосферу на стратостате, была достигнута в 1935 г. Изучение стратосферы имеет сейчас особенное значение для авиации, так как в пределах ее можно будет достигнуть сверхскоростных полетов.

Атмосфера является важным геологическим агентом. Она химически действует на горные породы, разрушая одни и образуя другие. Ветер, т. е. атмосфера в движении, переносит мелкие частицы горных пород, вызывает волнение на водных поверхностях и образует морские течения. Кроме того, атмосфера защищает Землю от метеоритов, которые миллионами падают на нее ежедневно, но не достигают ее поверхности, так как сгорают в воздухе вследствие высоких температур, развивающихся от трения. Только очень крупные метеориты долетают до Земли в виде камней.

Гидросфера — несплошная водная оболочка, лежащая под атмосферой. Она включает воду океанов, морей, озер, рек, и воду, проникшую в пустоты горных пород. Наибольшую часть гидросферы составляют океаны, глубина которых местами превышает 10 км, в среднем же близка к 4 км. Из общей поверхности Земли в 510 млн. км² вода покрывает около 370 млн. км², а остальные 140 млн. км² занимает суша, что составляет только около 30%.

Гидросфера является еще более мощным геологическим агентом, чем атмосфера. Она физическим и химическим путем интенсивно разрушает существующие горные породы, образуя из их обломков новые.

Литосфера, или земная кора — твердая оболочка Земли, которая имеет форму сплюсненного у полюсов эллипсоида вращения. Полярный диаметр Земли равен 12 714 км, а экваториальный — 12 756 км, т. е. разница между ними достигает всего 42 км. Около 70% литосферы покрыты гидросферой, а остальные 30% соприкасаются непосредственно с атмосферой.

Поверхность литосферы не является ровной, высокие горы материков и глубокие впадины океанов сменяют друг друга. Вершина высочайшей в мире горы Эверест в Гималаях поднимается на 8,8 км над уровнем моря, а самая глубокая впадина в 10,8 км известна у Филиппинских островов в Великом океане. Таким образом, максимальные превышения на поверхности литосферы близки к 20 км. Производя сильное впечатление на человека своим величием, горы и морские углубления настолько незначительны по сравнению с размерами Земли, что ни в какой мере не нарушают ее сферическую форму.

Глубина, до которой можно изучать литосферу путем непосредственного наблюдения в шахтах и буровых скважинах, редко превышает 2 км. Однако наблюдения в местах, где горные породы, бывшие когда-то на значительной глубине, выведены теперь на поверхность, увеличивают возможность исследования до глубины 10—15 км. Ниже литосфера и более глубокие зоны Земли могут изучаться только косвенными путями; здесь мы из области наблюдения и эксперимента переходим в область научных выводов и заключений. Общая толщина литосферы принимается равной 120 км, что дает ничтожную корку, составляющую всего около 1,9% от среднего радиуса Земли. Эта корка сфероида состоит главным образом из кремнистых соединений и имеет средний удельный вес всего 2,7.

Тепловой режим литосферы определяется количеством тепла, получаемого от Солнца и поступающего из более глубоких зон Земли, а также излучением тепла в мировое пространство. Солнечное тепло проникает на очень небольшую глубину и вызывает суточные колебания температуры горных пород на глубине 1—1,5 м. Годичные изменения температуры проникают в тропиках на 6 м от поверхности, в умеренных широтах — на 15—20 м и в северных широтах на 25 м и даже больше. Глубина влияния солнечных лучей зависит не только от широты местности, но и от характера рельефа, высоты над уровнем моря и теплопроводности горных пород.

В непосредственной связи с глубиной переменных температур находится глубина промерзания, которая является одним из решающих факторов при закладке фундаментов, прокладке водопроводных и канализационных труб и подобных сооружений, которые могут нормально работать только при положительных температурах.

Глубже зоны переменных температур Земля имеет постоянную температуру, которая не подвержена ни дневным, ни сезонным изменениям. Наблюдениями в шахтах, туннелях и глубоких буровых скважинах установлено, что с глубиной температура горных пород возрастает.

Глубина, при погружении на которую температура литосферы увеличивается на 1° С, называется геотермической ступенью и равна в среднем 33 м. В зависимости от рельефа, теплопроводности пород, охлаждения обильными водами и

других причин наблюдаются заметные отклонения от этой цифры. Так, например, под горами геотермическая ступень увеличивается до 50 м, а под долинами уменьшается до 20—25 м.

Кривые, соединяющие точки с одинаковой температурой, называются геоиотермами. В верхней части литосферы геоиотермы повторяют в смягченном виде контуры ее поверхности. С глубиной они постепенно выравниваются (рис. 9) и, наконец, на некоторой глубине условия рельефа не оказывают уже влияние на них. Повышение температуры с глубиной обусловлено внутренним жаром Земли и имеет для инженеров важное значение, так как от него зависит глубина, на которой можно проходить туннели и разрабатывать полезные ископаемые без принятия специальных мер по охлаждению, как это потребова-

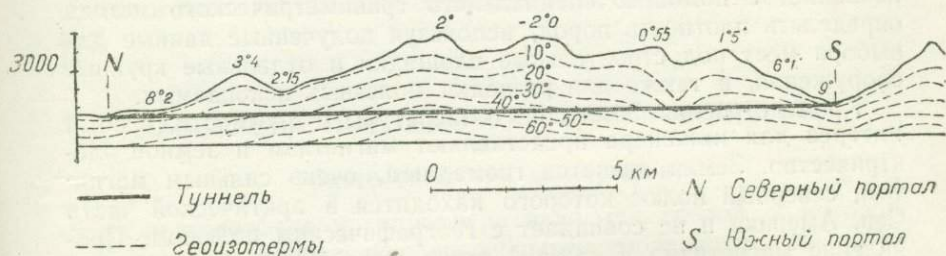


Рис. 9. Геоиотермы по оси Симплонского туннеля.

лось при сооружении Симплонского туннеля, где температура доходила до 55° С (рис. 9).

Высокие температуры на больших глубинах земных недр подтверждаются также лавовыми потоками, извергаемыми из вулканов. Температура лавы выше 1000—1100° С, как на это указывают расплавленные при одном из извержений Везувия медные сосуды, температура плавления которых 1082° С.

Барисфера — сфера, на которой как бы плавают тонкая твердая литосфера. Барисфера состоит из более тяжелых магнетических пород, которые вследствие высоких температур находятся в расплавленном состоянии и называются магмой. По трещинам магма внедряется в литосферу и в наиболее тонких и слабых местах выходит на поверхность в виде лавы, извержение которой обычно сопровождается выделением того или иного количества газов. Барисфера находится на глубине от 120 до 1200 км и имеет плотность, равную 4.

Промежуточная зона подстилает барисферу и представляет собой пластическую массу, состоящую главным образом из хрома, железа, магния и кремния. Пластическое, а не жидкое состояние промежуточной зоны объясняется высоким давлением, которое должно иметь место на этих глубинах. Промежуточная зона расположена на глубине от 1200 до 2900 км; удельный вес ее достигает 4—6.

Ядро является центральной частью Земли, имеет радиус в 3500 км и состоит из тяжелых металлов: никеля, железа и др.; удельный вес его около 10. Давление с глубиной увеличивается и у центра Земли оно больше 3 млн. атмосфер. Такое высокое давление дает основание считать, что земное ядро находится в твердом состоянии, так как с повышением давления повышается и температура плавления.

Таким образом наблюдается закономерное увеличение плотности Земли от поверхности (2,7) к центру (10), средняя же плотность ее равна 5,5. Однако в отдельных точках земной поверхности наблюдаются заметные отклонения от средней плотности Земли, которые указывают на изменение удельного веса горных пород или на присутствие пустот в данном месте. Это позволяет с помощью специального гравиметрического метода определять плотность пород, используя полученные данные для выбора мест под строительные площадки и отдельные крупные сооружения, а также для разведки полезных ископаемых.

Кроме строения Земли, ее температуры и плотности, особый интерес для инженера представляют магнетизм и земное электричество. Земля является громадным, очень сильным магнитом, северный полюс которого находится в арктической части Сев. Америки и не совпадает с географическим полюсом. Проявление магнетизма в каждой точке поверхности определяется двумя углами: склонением (угол, образуемый магнитной стрелкой с меридианом) и наклоном (угол наклона магнитной стрелки к горизонту). Оно зависит не только от положения точки на земной поверхности, но и от ряда других причин, среди которых существенную роль играют магнитные свойства горных пород. Одни породы просто магнитны, т. е. в равной степени притягивают оба полюса магнитной стрелки, другие же полярно-магнитны, т. е. притягивают один полюс и отталкивают другой. Чем больше железа содержит горные породы, тем они более полярно-магнитны и с большей силой притягивают магнитную стрелку. В настоящее время это свойство используется для поисков рудных месторождений с помощью так называемого магнитометрического метода.

Кроме закономерных отклонений магнитной стрелки, наблюдаются также внезапные отклонения, которые вызываются магнитными бурями. Магнитные бури часто наблюдаются за 30—50 часов до сильных землетрясений, а также совпадают с интенсивным проявлением северного сияния или вызываются сильными грозами.

Вследствие того, что литосфера заряжена отрицательным электричеством, а атмосфера положительным, в земной коре проходят вертикальные электрические токи. Они изменяют заряд Земли в различных пунктах и вызывают горизонтальные электрические токи, которые уже давно были обнаружены в Земле. В настоящее время, с развитием электротехники, в литосфере вызываются искусственные электрические токи. Неодинаковая

электропроводность различных горных пород позволяет использовать эти токи для устройства подземного беспроводного телеграфа, которым пользовались в первую мировую войну, а также для изучения строения литосферы и для разведки полезных ископаемых и подземных вод.

Кроме гравиметрического, магнитометрического и электрического методов исследований, применяется еще сейсмический метод, который основан на изучении распространения волн, вызванных искусственным сотрясанием горных пород. Все эти методы называются геофизическими методами изысканий и применяются для самых разнообразных целей. В последнее время геофизические методы разведки нашли применение и при инженерно-геологических изысканиях для выбора строительных площадок и предварительного определения устойчивости грунтов на них.

Глава II

ГЛАВНЕЙШИЕ ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МИНЕРАЛЫ

Общие свойства минералов

Если атмосфера и гидросфера являются средой, в которой возводятся и существуют инженерные сооружения, то литосфера, кроме того, служит еще основанием, на которое они опираются, и материалом, из которого их строят. Поэтому физико-химические и механические свойства и строение литосферы в первую очередь интересуют инженера-строителя. В настоящее время известно 93 химических элемента, но существенное значение в строении литосферы имеют только восемь: кислород — 46,7% (по весу), кремний — 27,7%, алюминий — 8,1%, железо 5,1%, кальций — 3,6%, натрий — 2,7%, калий — 2,6% и магний — 2,1%. На все остальные 85 элементов приходится 1,4% (рис. 10). Соединения отдельных химических элементов образуют в доступной нашему наблюдению верхней части литосферы однородные неорганические тела постоянного химического состава и физических свойств, которые называются минералами. Минералы состоят из одного или нескольких химических элементов и обладают рядом физических свойств.

По своему строению минералы подразделяются на кристаллические и аморфные, причем наибольшим распространением пользуются минералы с кристаллическим строением. Они пред-



Рис. 10. Химический состав литосферы в процентах (по весу).

ставляют собой кристаллическое вещество, которое обладает тремя основными свойствами: однородностью, анизотропностью и способностью образовывать тела правильной геометрической формы, называемые кристаллами. Кристаллическое тело однородно, т. е. в любой точке обладает совершенно одинаковыми свойствами, но в то же время оно анизотропно, т. е. в разных направлениях эти свойства проявляются по-разному. Примером может служить всем хорошо известная слюда; в каждой точке она обладает одинаковым цветом, блеском, твердостью, теплопроводностью и способностью раскалываться на тонкие пластинки, т. е. она однородна. Однако, хотя слюда в каждой точке раскалывается на пластинки, но этим свойством она обладает только в одном направлении, в других же направлениях расколоть ее на тонкие пластинки с гладкими поверхностями невозможно. Теплопроводность, сопротивление на разрыв и другие свойства слюды перпендикулярно к пластинкам будут иные, чем вдоль них. Это значит, что слюда анизотропна, но тем не менее она однородна, так как не только свойства сами по себе, но и их направленность, — векториальность — в каждой точке совершенно одинаковы.

Строение аморфных однородных некристаллических веществ отличается тем, что они изотропны, т. е. их свойства во всех направлениях проявляются с одинаковой силой. Это хорошо видно на стекле, которое пропускает свет и тепло одинаково во всех направлениях, а также механическая прочность которого не зависит от направления.

Характерным свойством кристаллического вещества является его способность образовывать кристаллы, т. е. неорганические твердые однородные анизотропные тела правильной геометрической формы. Каждый минерал имеет свойственную только ему геометрическую форму кристаллов, которая зависит от химического состава минерала и по которым его можно отличать от других минералов. Геометрические формы кристаллов бывают самые разнообразные (рис. 11); изучение их является объектом специальной дисциплины — кристаллографии.

Плоскости, ограничивающие кристалл, называются его гранями, а линии пересечения граней — ребрами кристалла. Установлено, что двугранные углы кристаллов для одного и того же минерала всегда остаются постоянными, хотя величина и форма граней могут заметно меняться. Это замечательное свойство позволяет точно определить минерал, даже в том случае, если внешние формы кристалла искажены.

При всем кажущемся разнообразии, многие кристаллы многогранники обладают рядом одинаковых свойств, что позволяет все формы кристаллов разделить на семь групп, которые называются сингониями. Подразделение кристаллов на сингонии основано на симметрии, т. е. на способности кристалла полностью совмещаться не менее двух раз при вращении его на 360° вокруг линии, называемой осью симметрии. Осей сим-

метрии в кристалле может быть несколько, и чем более совершенна геометрическая форма кристалла, тем большим количе-

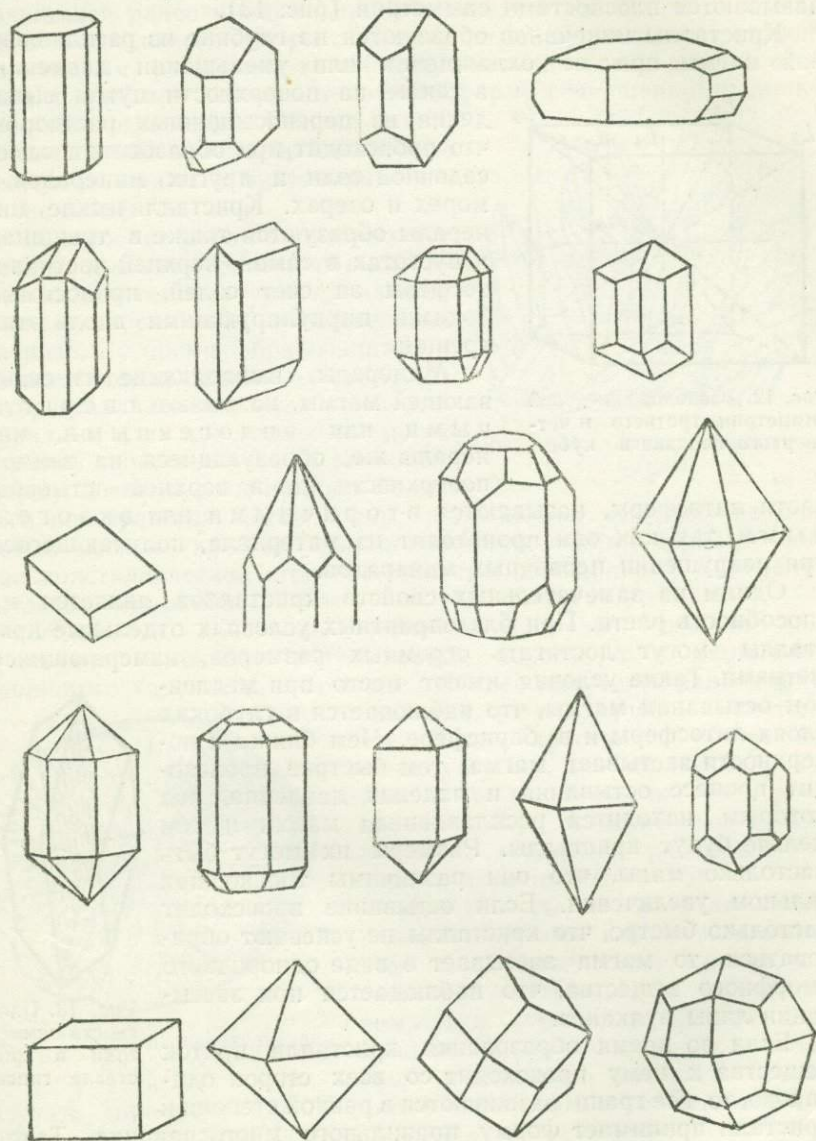


Рис. 11. Наиболее распространенные формы кристаллов.

ством осей он обладает. В зависимости от того, сколько раз кристалл совмещается при вращении вокруг оси, оси симметрии подразделяют на оси второго, третьего, четвертого порядка и т. д.

(рис. 12). Плоскости, по которым кристалл мысленно можно разделить на две совершенно одинаковые (симметричные) части, называются плоскостями симметрии (рис. 13).

Кристаллы минералов образуются на глубине из расплавленной магмы при ее охлаждении или уменьшении давления, а также на поверхности путем выпадения из перенасыщенных растворов, что происходит при образовании самосадочной соли и других минералов в морях и озерах. Кристаллические минералы образуются также в трещинах и пустотах в самой верхней части литосферы за счет солей, приносимых водами, циркулирующими вдоль этих трещин.

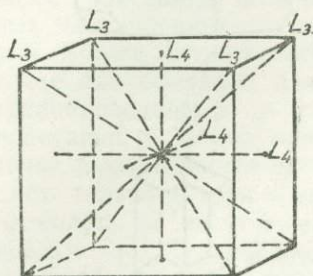


Рис. 12. Расположение осей симметрии третьего и четвертого порядка в кубе.

Минералы, выпадающие из остывающей магмы, называются первичными или эндогенными, минералы же, образующиеся на земной поверхности или в верхней остывшей

части литосферы, называются вторичными или экзогенными, так как они происходят из материала, получающегося при разрушении первичных минералов.

Одним из замечательных свойств кристаллов является их способность расти. При благоприятных условиях отдельные кристаллы могут достигать огромных размеров, измеряющихся метрами. Такие условия имеют место при медленном остывании магмы, что наблюдается в глубоких слоях литосферы и в барисфере. Чем ближе к поверхности застывает магма, тем быстрее происходит процесс остывания и падения давления, под которым находится расплавленная масса, и тем мельче будут кристаллы. Размеры их могут быть настолько малы, что они различимы только при сильном увеличении. Если остывание происходит настолько быстро, что кристаллы не успевают образоваться, то магма застывает в виде однородного аморфного вещества, что наблюдается при застывании лавы вулканов.

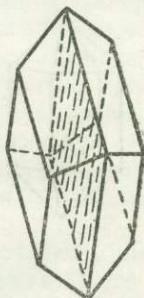


Рис. 13. Плоскость симметрии в кристалле гипса.

Если во время образования кристалла приток вещества к нему происходит со всех сторон одинаково, то все грани развиваются в равной степени и кристалл принимает форму правильного многогранника. Такие идеальные условия существуют в первый момент остывания магмы, когда образуются кристаллы наиболее тугоплавких минералов. В дальнейшем, когда температура снизится настолько, что начнут выкристаллизовываться минералы с более низкой температурой плавления, условия образования кристаллов будут менее благоприятны. Они уже будут окру-

жены не только жидкой массой, в которой свободно могли бы принимать свойственную им форму, но также и выкристаллизовавшимися ранее минералами. В результате этого приток вещества, необходимого для роста кристалла, не будет со всех сторон одинаковым, различные грани будут развиваться в разной степени и кристалл не сможет принять форму совершенно правильного многогранника. Однако количество граней и размеры двухгранных углов при этом будут неизменно те же самые.

В наиболее неблагоприятных условиях оказываются минералы с самой низкой температурой плавления, которые образуются в последнюю очередь. Во время образования они со всех сторон окружены твердыми выкристаллизовавшимися ранее минералами и их кристаллы не смогут принять свойственную им внешнюю форму, а вынуждены принять форму того пространства, которое они заполняют. В этом случае они называются не кристаллами, а кристаллическими зернами, так как кристаллическое строение, свойственное данному минералу, остается неизменным.

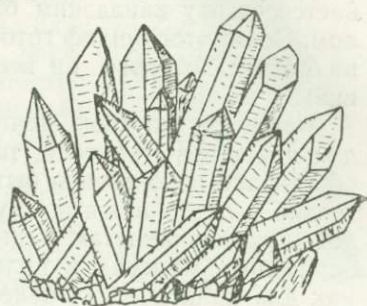


Рис. 14. Друза кристаллов кварца.

Отдельные кристаллы встречаются редко; обычно они сростаются вместе, образуя горные породы, т. е. скопления зернистого характера, состоящие из более или менее равномерно развитых во все стороны кристаллов. Когда кристаллы растут на стенках пустот, они образуют друзы (рис. 14), в случае же если рост идет от центра к периферии, то получают конкреции радиально-лучистого строения (рис. 15).

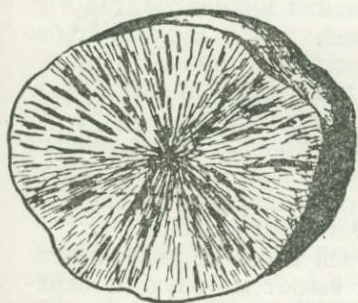


Рис. 15. Радиально-лучистая конкреция.

Для точного определения минералов пользуются оптическим методом, т. е. определяют оптические свойства минерала под микроскопом. Для этой цели служит специальный поляризационный микроскоп, с помощью которого можно

изучать минералы как в проходящем, так и в отраженном свете.

Поляризационный микроскоп отличается от обычного биологического тем, что имеет приспособление для измерения углов и для исследования минералов в поляризованном свете. Разница между обыкновенным и поляризованным светом заключается в том, что обыкновенный луч имеет сложное колебание эфира, а поляризованный — только в одной плоскости.

Изучение минералов в проходящем свете производится в шлифах, т. е. тонких пластинках, изготовленных путем шлифования из минерала или горной породы. Толщина шлифа должна быть такой, чтобы через нее можно было читать текст книги. Обычно она колеблется от 0,02 до 0,04 мм. Шлиф приклеивается канадским бальзамом к толстому предметному стеклу и покрывается сверху канадским бальзамом и тонким покровным стеклом. После этого шлиф готов для исследования под микроскопом, на столик которого он всегда кладется предметным стеклом вниз.

Несмотря на свою точность, оптический метод непригоден для инженера-строителя, так как он очень сложен и в полевой обстановке использован быть не может. Им можно пользоваться только в особо важных случаях, отправляя образцы для исследования специалистам минерологам. Инженеру же нужно уметь определить минерал в поле с гораздо меньшей точностью, так как для практических целей не нужно точное определение всех минералов; достаточно уметь определить по внешним признакам наиболее широко распространенные минералы, присутствие которых существенно сказывается на свойствах горных пород. Такие минералы называются пороодообразующими, и главнейшие свойства, по которым их можно отличить друг от друга при микроскопическом (невооруженным глазом) исследовании, следующие: цвет, блеск, прозрачность, излом, твердость и спайность.

Цвет одного и того же минерала нередко изменчив, вследствие различных посторонних примесей, но тем не менее он служит важным признаком при определении минералов. Многие минералы в порошке имеют другой цвет, чем в куске. Чтобы определить цвет порошка минерала, достаточно провести им по специальной фарфоровой пластинке или, если таковой нет, по нижней шероховатой поверхности блюдечка. На фарфоре остается черта из порошка минерала с хорошо выраженным цветом. Этот метод, конечно, применим только для минералов более мягких, чем фарфор. Подразделение минералов на светлые и темные уже сильно облегчает задачу их определения.

Блеск обусловлен отражением лучей света от поверхности минерала. Только немногие минералы имеют матовую поверхность, большинству же свойственна блестящая. Различают металлический, стеклянный, жирный, перламутровый и шелковистый блеск.

Прозрачность минералов зависит от способности пропускать свет в сравнительно тонких пластинках. По этому свойству минералы подразделяются на прозрачные, через которые ясно видны предметы, полупрозрачные, через которые видны только контуры предметов, просвечивающие, в которых свет проходит только через тонкие пластинки, а предметы вовсе неразличимы, и непрозрачные, через которые свет совершенно не проходит.

Излом определяется формой и видом поверхности, которая получается при раскалывании минерала. Различают изломы: раковистый — вогнутая или выпуклая поверхность, напоминающая раковину (рис. 16), занозистый, землистый, ровный и зернистый.

Твердость, т. е. сопротивление, оказываемое минералом при царапании, служит весьма важным признаком при определении минералов. Возможность быстро и легко определять твердость минерала в полевой обстановке делает использование этого свойства особенно ценным.

Для определения твердости пользуются шкалой Мооса, состоящей из десяти минералов, расположенных в такой последовательности, что каждый последующий царапает предыдущий. Порядковый номер минерала является в то же время мерой твердости. Так как в полевой обстановке не всегда есть набор минералов шкалы Мооса, то рядом с каждым минералом шкалы приведены признаки, с помощью которых можно приблизительно определить твердость минерала.

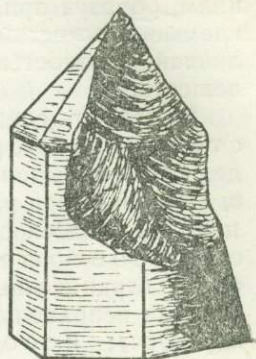


Рис. 16. Раковистый излом у кварца.

Шкала Мооса

- | | |
|-------------------------|--|
| 1. Тальк | чертится ногтем |
| 2. Гипс | с трудом чертится ногтем |
| 3. Кальцит | чертится ножом |
| 4. Плавленый шпат | с трудом чертится ножом |
| 5. Апатит | не царапается ножом и не чертит стекло |
| 6. Ортоклаз | слегка царапает стекло |
| 7. Кварц | легко чертит стекло |
| 8. Топаз | } минералы с твердостью 8—10 среди породообразующих не встречаются |
| 9. Корунд | |
| 10. Алмаз | |

При определении твердости минерала с помощью шкалы Мооса испытывают минерал эталонами шкалы, пока не найдут таких два соседних эталона, из которых один царапает испытуемый минерал, а другой царапается им. Так, например, если минерал, твердость которого определяется, царапается плавленым шпатом, но сам царапает кальцит, то его твердость больше 3, но меньше 4, а следовательно приближенно может быть принята за 3,5. Если же минерал царапается плавленым шпатом, а сам не царапает кальцита и в свою очередь не царапается кальцитом, то его твердость равна твердости кальцита, т. е. 3.

Определяя твердость минерала, испытание царапанием нужно производить на свежем изломе. В противном случае поверхность минерала может быть в той или иной мере разрушена, в результате чего твердость получится заниженной.

Спайность является также очень важным свойством для определения минералов. Спайностью называется способность минералов раскалываться по одному или нескольким направлениям, образуя при этом гладкие блестящие поверхности, называемые плоскостями спайности. Спайность обуславливается различной плотностью расположения атомов в кристаллическом веществе.

Выделяют следующие градации спайности: в высшей степени совершенная — минерал без всякого труда разделяется на листочки или пластинки (слюда); весьма совершенная — при раскалывании всегда получаются кусочки, ограниченные плоскостями спайности (гипс, кальцит, каменная соль); совершенная — при раскалывании образуются кусочки, ограниченные как плоскостями спайности, так и поверхностями неправильного излома (полевошпат, роговая обманка, пироксен); несовершенная — обнаруживается с трудом, так как куски минерала почти всегда имеют неправильные поверхности (кварц, оливин, пирит, апатит).

Удельный вес породообразующих минералов обычно находится в узких пределах от 2,5 до 3, что не позволяет уловить разницу в весе отдельных минералов при непосредственном взвешивании на руке. Таким образом, можно выделить только минералы с большим содержанием железа, удельный вес которых близок к 5 (магнитный железняк, пирит).

Описание важнейших породообразующих минералов

В настоящее время известно более 2000 минералов, но большинство из них не играет существенной роли в строении горных пород. Только около 50 минералов имеют важное значение при определении горных пород и оценке их строительных качеств. Знание главнейших из породообразующих минералов совершенно необходимо строителю, так как только при этом условии он может сознательно оценивать пригодность отдельных горных пород для использования в качестве основания под сооружения и строительного материала.

Все минералы по химическому составу могут быть подразделены на 8 классов, которые по степени распространения в земной коре и значению для инженерно-строительного дела располагаются в следующем порядке: силикаты, окислы, карбонаты, сульфаты, галоиды, сульфиды, фосфаты и самородные элементы.

Силикаты. Силикаты представляют собой соли различных кремневых кислот, а также водные соединения этих солей, которые называются водными силикатами и, как правило, являются вторичными минералами, т. е. минералами, образовавшимися при разрушениях первичных силикатов. Это самый многочисленный и наиболее распространенный на земле класс минералов, который составляет по весу 85% всей земной коры.

Полевые шпаты подразделяются на калиевые — ортоклазы ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) и на натрово-кальциевые — плагиоклазы ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 + CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$). Они являются самым распространенным видом минералов и слагают по весу около 50% литосферы, будучи важнейшей составной частью большинства горных пород. Полевые шпаты — светлые минералы, причем ортоклазы большей частью бывают окрашены в белый, светлорозовый, кремовый и мясо-красный цвета, а плагиоклазы — в белый и серый цвета, иногда с голубым и синеватым оттенками. Блеск у полевых шпатов стеклянный, излом у ортоклазов ровный, а у плагиоклазов — неровный. Кристаллы полевых шпатов имеют форму призматических коротких пластинок и столбиков. Спайность совершенная: у ортоклазов в двух направлениях, а у плагиоклазов в одном. Спайность служит хорошим признаком для отличия в поле ортоклазов от плагиоклазов, когда они встречаются в крупных кристаллах. Надежным признаком для отличия плагиоклазов является также штриховка, которая хорошо видна в лупу даже на небольших зернах. Твердость полевых шпатов — 6.

Полевые шпаты разрушаются обычно легче других породообразующих минералов, причем среди них ортоклазы более стойки, чем плагиоклазы. Физическое разрушение — выветривание полевых шпатов проявляется в ряде мелких трещин, обнаруживающихся в кристаллах при неравномерном нагревании солнечными лучами. При химическом выветривании поверхность кристаллов теряет блеск, приобретая тусклый землистый вид. Одновременно уменьшается твердость минералов, и в результате полного выветривания, в зависимости от химического состава разрушившегося минерала, образуются вторичные минералы: каолинит, кальцит и хлорит. Степень выветрелости полевого шпата служит существенным признаком при оценке полевошпатовых пород как строительных материалов.

После плавки полевые шпаты дают белое стекло, которое обладает электроизоляционными свойствами. Это позволяет использовать его при производстве электроизоляционного фарфора для токов низкого и высокого напряжения. Как составная часть, полевой шпат используется при изготовлении абразивных кругов, а также при изготовлении эмали для покрытия чугуновых и железных изделий, так как он увеличивает ее вязкость и химическую стойкость. В качестве плавня шпат применяют в производстве искусственных зубов; он также употребляется в производстве полировочных порошков. Дробленый полевой шпат используют, кроме того, в качестве наполнителя при изготовлении искусственных облицовочных гранитов.

Пироксены. Наиболее типичным представителем пироксенов является авгит $[Ca \cdot Mg \cdot Fe(SiO_3)_2]$, имеющий зеленый, бурый или черный цвет, стеклянный блеск и неровный излом. Авгит относится к темным минералам. Кристаллы авгита имеют форму восьмигранных призм и мелких столбиков, но в породах

он встречается главным образом в виде мелких зерен. Совершенная спайность в двух направлениях. Твердость авгита 5—6.

В отношении выветривания авгит довольно стойкий минерал. При разрушении его образуются вторичные минералы: змеевик и хлорит.

В горных породах, использующихся в качестве строительного материала, пироксены не имеют первостепенного значения, но при заметном содержании их порода становится более хрупкой и трудно поддается полировке.

А м ф и б о л ы. Наиболее широко распространенным минералом этой группы является роговая обманка, имеющая очень сложный и непостоянный химический состав, который схематично может быть дан в таком виде: $(Ca \cdot Mg)SiO_3$. Она относится к темным минералам и имеет темнозеленый или черный цвет, стеклянный (на плоскостях спайности — шелковистый) блеск и занозистый излом. Кристаллы роговой обманки имеют форму вытянутых шестигранных столбиков игольчатой формы, что часто придает агрегатам волокнисто-лучистое строение. Спайность совершенная в двух направлениях; твердость 5,5—6.

Макроскопически в полевых условиях отличить роговую обманку от авгита очень трудно, однако волокнистое строение характерно для роговой обманки и может в некоторых случаях служить признаком ее определения.

По отношению к выветриванию роговая оболочка имеет ту же стойкость, что и авгит, а разрушаясь, дает те же вторичные минералы — змеевик и хлорит.

Амфиболы входят в значительном количестве в большинство горных пород, делая породу вязкой при обработке.

О л и в и н $[2(Mg \cdot Fe)O \cdot SiO_2]$ — темный минерал желтовато-зеленого и бутылочно-зеленого цвета. Блеск у оливина стеклянный, излом неровный или раковистый. Кристаллы имеют форму восьмигранных призм, спайность несовершенная. В виде кристаллов оливин встречается очень редко, образуя обычно зернистые массы. Твердость оливина 6,5—7.

Зеленый цвет, отсутствие спайности и значительная твердость позволяют отличить оливин от других темных минералов.

Оливин легко выветривается не только физически (растрескивается от мороза), но и химически, причем он переходит в змеевик и окись железа.

С л ю д ы. Наиболее важными минералами среди этой группы будут: мусковит $(K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O)$, или калиевая слюда, и биотит $[K_2O \cdot 6(Mg \cdot Fe)O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O]$, или железомagneзиальная слюда. Первая бесцветна или имеет серебрино-белый цвет, а вторая — черный или зелено-черный цвет, что позволяет легко отличить их друг от друга. Прочие свойства у обеих слюд одинаковые. Они имеют перламутровый блеск и образуют кристаллы в виде стопы тонких пластинок. Благодаря в высшей степени совершенной спайности в одном направлении,

слюда без всякого труда раскалывается на тончайшие гибкие упругие листочки и чешуйки, что позволяет легко отличать слюду от других минералов. Твердость слюды 2,5—3.

Слюды — очень стойкие минералы, причем биотит вследствие содержания железа разрушается легче, чем мусковит, переходя при этом в хлорит. Слюды встречаются в большинстве горных пород, и, в случае содержания в виде прослоев, уменьшают их прочность, облегчая раскалывание на отдельные плиты.

Как строительный материал, слюда применяется для изготовления кровельного толя, на декоративные украшения и пр. В электротехнике она используется в качестве изоляционного материала.

З м е е в и к или **с е р п е н т и н** ($MgO \cdot SiO_4 \cdot 2H_2O$) — первичный, а также вторичный минерал, образующийся при выветривании пироксенов, амфиболов и оливина. Он имеет зеленый цвет различных оттенков и может быть отнесен к темным минералам. Блеск у змеевика жирный, восковой или шелковистый, излом раковистый или занозистый. Кристаллы имеют форму волокон, придавая агрегатам волокнистое строение. Змеевик очень часто встречается также в виде мелких зерен. Спайность совершенная в одном направлении; твердость 3—4. Очень хорошо сопротивляется выветриванию.

Х л о р и т [$(Mg \cdot Fe)O \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$] — вторичный минерал, образующийся из полевых шпатов, пироксенов, амфиболов, оливина и биотита. Цвет хлорита зеленый, блеск стеклянный или перламутровый, излом неровный и занозистый. Кристаллы имеют форму табличек и чешуек. Благодаря весьма совершенной спайности в одном направлении, хлорит легко расщепляется на гибкие неупругие пластинки. Твердость хлорита 2.

Т а л ь к ($MgO \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$) — вторичный минерал, образующийся в результате изменения оливина. Тальк имеет белый, желтоватый или зеленоватый цвет и относится к светлым минералам. Блеск у него жирный, а на плоскостях спайности перламутровый. Кристаллы талька имеют форму табличек и чешуек, которые вследствие весьма совершенной спайности в одном направлении без труда расщепляются на неупругие, жирные наощупь листочки. Твердость талька 1; хорошо сопротивляется выветриванию.

Благодаря высокой температуре плавления тальк идет на изготовление огнеупорных кирпичей. Кроме того он употребляется в резиновой, бумажной и других отраслях промышленности.

Косогоры, сложенные горными породами, богатыми тальком, легко оползают.

К а о л и н и т ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) — вторичный минерал, образующийся при выветривании полевых шпатов. Он имеет белый или слегка желтоватый цвет, тусклый блеск и землистый излом. Обычно каолинит образует землистые массы, кристаллы же встречаются очень редко и для определения минерала практического

значения не имеют. Наощупь каолинит жирный, при соединении с водой дает пластичную массу. Твердость каолинита 1.

Каолинит широко применяется в строительном деле, керамике и как материал для фарфорового производства.

Окислы. Окислы представляют соединения кислорода с различными элементами и подразделяются на окислы кремния и окислы металлов.

Кварц (SiO_2) составляет до 12% по весу от всей литосферы. Чаще всего он бесцветен, но в зависимости от примесей становится дымчатым или имеет молочнобелую, розовую и другие окраски. Совершенно без примесей кварц прозрачен и называется горным хрусталем. Блеск у кварца на гранях стеклянный, а в изломе жирный; излом раковистый (рис. 16). Кристаллы кварца имеют форму шестигранных призм с пирамидальными вершинами (рис. 14), но чаще кварц встречается в виде плотных мелкокристаллических масс. Спайность отсутствует, твердость 7.

Кварц один из самых стойких минералов как в механическом, так и в химическом отношении; на него действует только плавиковая кислота. Практически он не выветривается, и после разрушения других минералов, слагающих горную породу, остается в виде отдельных зерен, скопление которых дает песок.

Применяется кварц для изготовления стекла, огнеупорных кирпичей, в качестве флюсов и поделочного камня для изготовления предметов украшения. Из него делают также части физических приборов точной механики (тонкие кварцевые нити и пр.) и химическую посуду.

Кремень (SiO_2) представляет собой тесную смесь аморфной и скрыто-кристаллической кремневой кислоты и имеет вид плотной массы черного или темнокоричневого цвета. Блеск кремня стеклянный, излом раковистый или чешуйчатый, твердость 7. Очень стойкий минерал.

Встречается кремень повсеместно в виде конкреций и желваков.

В прежнее время кремень применялся для высекания огня в домашнем обиходе и в ружьях. В настоящее время молотый кремень идет на изготовление кирпичей для футеровки шаровых мельниц, а кремневая галька — для измельчения различных масс в этих мельницах. Кремень употребляется также для производства лабораторной посуды и как шлифовальный порошок.

Магнетит или **магнитный железняк** ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$) имеет железночерный цвет, металлический блеск, и дает в сплошных массах зернистый, а в кристаллах раковистый излом. Кристаллы имеют форму октаэдров; спайности нет. Твердость магнетита 5,5, а удельный вес 5,2, по которому он при взвешивании на руке заметно отличается от других порообразующих минералов. Магнетит характеризуется сильной магнитностью и является лучшей магнитной рудой.

Лимонит или бурый железняк ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) — аморфный вторичный минерал, очень широко распространенный в верхних слоях литосферы. Цвет лимонита ржаво-бурый, блеск матовый, излом землистый, твердость 5—5,5 (в землистых массах гораздо меньшая), удельный вес 3,8.

Образуется лимонит при выветривании железосодержащих минералов и встречается в виде плотных и губчатых масс, почковидных натеков, а также скоплений, состоящих из отдельных шариков. В этом случае лимонит называется оолитовой или бобовой рудой. На дне болот и других мелководных бассейнов лимонит образует пористые землистые массы, называемые болотной рудой. Лимонит используется как железная руда.

Карбонаты. По составу карбонаты являются солями угольной кислоты (H_2CO_3). Это вторичные минералы, образовавшиеся при выветривании других минералов, или путем выпадения из водных растворов, а также в морях при участии организмов.

Кальцит или известковый шпат (CaCO_3) в чистом виде прозрачен или имеет белый цвет; в зависимости от примесей принимает различные оттенки. Кристаллизуется кальцит в сколопендрах и ромбоэдрах с весьма совершенной спайностью по трем направлениям. Блеск стеклянный, твердость 3. При действии слабой соляной кислотой сильно вскипает, что служит надежным признаком для отличия его от других минералов. Встречается кальцит как в кристаллах, так и в землистых массах; является составной частью многих горных пород.

Кальцит широко применяется в самых разнообразных отраслях промышленности.

Доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) имеет белый и серый цвет, стеклянный блеск и совершенную спайность по ромбоэдру в трех направлениях, которая хорошо заметна в кристаллах — ромбоэдрах. Твердость доломита 3,5—4. Макроскопически доломит часто неотличим от кальцита, но его свойство вскипать под действием только горячей соляной кислоты или в порошке позволяет без труда отличать его.

Кристаллические разновидности доломита встречаются редко, обычно он образует плотные массы.

Применяется доломит как флюс, как огнеупорный строительный материал и в качестве цементного сырья.

Сульфаты. Сульфаты — вторичные минералы, представляющие собой различные соли серной кислоты (H_2SO_4). Большинство сульфатов образовалось путем выпадения из перенасыщенных растворов в заливах и лиманах морей и океанов в условиях жаркого климата.

Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) — водный сульфат кальция; имеет белый, серый или красноватый цвет и стеклянный блеск. Образует столбчатые или табличчатые кристаллы с весьма совершенной спайностью в одном направлении. Волокнистые разновидности гипса дают занозистый излом и имеют шелковистый блеск. Твер-

дость 2. Гипс очень легко растворяется в воде; в 400 частях воды растворяется одна часть гипса.

Обожженная разновидность гипса, называемая алебастром, широко применяется как вяжущее вещество в строительном деле. В измельченном виде гипс употребляется для регулирования схватывания при производстве портланд-цемента.

Ангидрит (CaSO_4) или безводный гипс встречается реже гипса. Он имеет белый, серый и красноватый цвет, стеклянный блеск и зернистый излом. Кристаллы ангидрита имеют ромбическую форму и совершенную спайность в трех направлениях, но встречаются редко. Обычно ангидрит образует сплошные тонкозернистые массы. Твердость его равна 3. При соприкосновении с водой ангидрит переходит в гипс, увеличиваясь при этом на 60% в объеме.

Ангидрит употребляется для изготовления специального цемента, как добавка к портланд-цементу и для получения серной кислоты.

Галоиды. Каменная или поваренная соль (NaCl) прозрачна или имеет белый, часто серый цвет и стеклянный блеск. Кристаллы имеют форму кубиков и весьма совершенную спайность в трех направлениях, вследствие чего раскалываются на отдельные кубики. Твердость 2,5. Каменная соль легко растворяется в воде и обладает характерным соленым вкусом.

Поваренная соль — вторичный минерал, образующийся, так же как и гипс, в лагунах морей и в высыхающих озерах в сухом климате.

Применяется каменная соль в химической промышленности для получения соляной кислоты, а также и в пищевой промышленности.

Сульфиды. Сульфиды представляют собой соединения серы с различными металлами и часто встречаются в виде составной части горных пород. Этот класс объединяет до 350 минералов, но существенное значение для строителей имеют только некоторые из них; типичным представителем их является пирит.

Пирит или серный колчедан (FeS_2) — двусернистое железо, имеет бледнолатунно-желтый цвет, сильный металлический блеск и неровный излом. Кристаллы имеют форму кубиков, спайность отсутствует, твердость 6—6,5, удельный вес 5.

В виде вкраплеников пирит встречается во многих горных породах. Под действием кислорода воздуха и влаги легко выветривается, причем образуется серная кислота, которая разрушающим образом действует на соседние минералы, ослабляя породу в целом. Породы, содержащие большое количество пирита, считаются мало пригодными для использования в качестве строительных материалов.

В промышленности пирит используется для получения серной кислоты, железного купороса и применяется в радиотехнике.

Фосфаты. Фосфаты представляют собой минеральные соли фосфорной кислоты (H_3PO_4). Из большого числа минералов

этого класса значение, как породообразующий минерал, имеет только апатит.

Апатит $[(\text{Cl} \cdot \text{F})\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3]$ имеет очень разнообразный цвет: зеленый, желтоватый, белый, фиолетовый и бурый; жирный блеск и неровный раковистый излом. Он образует кристаллы в виде игольчатых шестигранных призм с несовершенной спайностью. Твердость апатита 5.

Встречается апатит в виде крупных кристаллов, но обычно в виде зернистых сахаровидных масс.

Апатит используется в качестве минерального удобрения.

Самородные элементы. Многие химические элементы: углерод, сера, золото, серебро и т. д. образуют минералы, но они не пользуются в литосфере широким распространением и как породообразующие интереса не представляют. Примером самородного минерала может служить сера.

Сера (S) имеет медово-желтый цвет и восковой блеск. Встречается она как в ромбических кристаллах, так и в виде землянистых агрегатов. Твердость серы 1,5.

При трении сера издает слабый своеобразный запах.

Употребляется сера в самых разнообразных отраслях промышленности.

Макроскопическое определение минералов

На первый взгляд может показаться, что определение главных породообразующих минералов макроскопическим путем трудно и требует большого опыта. На самом деле это не так; оно без труда может с достаточной точностью выполняться сравнительно малоопытными людьми.

Так как сразу трудно запомнить свойства всех минералов, то для определения их лучше пользоваться таблицей-определителем (табл. 1). В этой таблице все породообразующие минералы разделены на две группы: светлые минералы и темные минералы. В каждой группе они в свою очередь расположены в порядке возрастания твердости, а затем приведены прочие характерные свойства, позволяющие определить минерал.

Таким образом, при определении минерала, в первую очередь, решаем, к светлым или темным минералам относится определяемый нами. Это не представляет труда, так как хотя многие минералы имеют разную окраску, но таких породообразующих минералов, которые имели бы и светлые и темные цвета, как правило, нет. После этого из рассмотрения отпадает половина всех минералов и задача значительно упрощается. Минералов с одинаковой твердостью в каждой группе всего несколько, следовательно, после определения твердости остается только решить, какой из двух-трех минералов есть наш минерал, что легко можно сделать путем рассмотрения и сравнения прочих свойств, приведенных в таблице.

Таблица-определитель поро

№ № пл.	Название минерала	Твер- дость	Цвет	Блеск
С вет л ы е				
1	Тальк $MgO \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$	1	Белый, желтова- тый, зеленоватый	Жирный, перламут- ровый
2	Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	1	Белый, желтоватый	Тусклый
3	Гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2	Белый, серый, красноватый	Стеклянный, шелковист.
4	Каменная соль NaCl	2,5	Прозрачный, белый, серый	Стеклянный
5	Мусковит $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O$	2,5—3	Бесцветный, серебряно-белый	Перламут- ровый
6	Ангидрит $CaSO_4$	3	Белый, серый, красноватый	Стеклянный
7	Кальцит $CaCO_3$	3	Прозрачный, белый	Стеклянный
8	Доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$	3,5—4	Белый, серый	Стеклянный
9	Апатит $(ClF)Ca_5 \cdot (PO_4)_3$	5	Белый, зеленый, желтоватый, фио- летовый, бурый	Жирный
10	Ортоклаз $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	6	Белый, светлоро- зовый, кремовый и мясо-красный	Стеклянный
11	Плагиоклаз $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 +$ $+ CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	6	Белый, серый, иног- да с голубым и си- неватым оттенком	Стеклянный
12	Кварц SiO_2	7	Бесцветный, дым- чатый, молочно- белый и розовый	Жирный, на гранях стеклянный

дообразующих минералов

Таблица 1

Излом	Спайность	Форма кристаллов	Особые свойства, подтверждающие пра- вильность определения
м и н е р а л ы			
—	Весьма совершенная в одном направлении	Таблички и че- шуйки	Неупругость чешуек и листочков
Землистый	—	—	Жирный наощупь
Занозистый	Весьма совершенная в одном направлении	Столбики и таб- лички	—
—	Весьма совершенная в трех направлениях	Кубики	Соленый вкус
—	В высшей степени совершенная в одном направлении	Стопа тонких пластинок	Упругость тонких пла- стинок и листочков
Зернистый	Совершенная в трех направлениях	Ромбические(встре- чаются редко)	Образует обычно тонко зернистые массы
—	Весьма совершенная в трех направлениях	Ромбоэдры и сколеноэдры	Сильно вскипает под действием слабой соля- ной кислоты
—	Совершенная в трех направлениях	Ромбоэдры	Вскипает только под дей- ствием горячей соляной кислоты или в порошке
Неровный раковистый	Несовершенная	Игольчатые шести- гранные призмы	Образует обычно зерни- стые сахаровидные массы
Ровный	Совершенная в двух направлениях	Призматические короткие пластин- ки и столбики	—
Неровный	Совершенная в одном направлении	Призматические короткие пластин- ки и столбики	Штриховка на кристаллах
Раковистый	Нет	Шестигранные призмы с пирами- дальн. вершинами	Образует плотные мелко- кристаллические массы

№ № пп.	Название минерала	Твер- дость	Цвет	Блеск
Т е м н ы е				
13	Сера S	1,5	Медово-желтый	Восковой
14	Хлорит (Mg.Fe)O·2SiO ₂ ·H ₂ O	2	Зеленый	Стекланный, перламут- ровый
15	Бiotит K ₂ O·6(Mg.Fe)O ₂ ·Al ₂ O ₃ ·6SiO ₂ ·2H ₂ O	2,5—3	Черный, зелено- черный, темно- коричневый	Перламут- ровый
16	Змеевик MgO·SiO ₄ ·2H ₂ O	3—4	Зеленый, разных оттенков	Жирный, восковой, шелковист.
17	Лимонит 2Fe ₂ O ₃ ·3H ₂ O	5—5,5	Ржаво-бурый	Матовый
18	Магнетит Fe ₂ O ₃ ·FeO	5,5	Железно-черный	Металли- ческий
19	Авгит Ca·Mg·Fe(SiO ₃) ₂	5—6	Зеленый, бурый, черный	Стекланный
20	Роговая обманка Примерно: (Ca·Mg)SiO ₃	5,5—6	Темнозеленый и черный	Стекланный, шелкови- стый
21	Пирит FeS ₂	6—6,5	Бледнолагуно- желтый	Сильный ме- таллический
22	Оливин 2(Mg·Fe)O·SiO ₂	6,5—7	Желтовато-зеле- ный, буглочно- зеленый	Стекланный
23	Кремень SiO ₂	7	Черный, темно- коричневый	Стекланный

Излом	Спайность	Форма кристаллов	Особые свойства, подтверждающие пра- вильность определения
м и н е р а л ы			
—	—	Ромбические	Образует землистые мас- сы. При трении издает легкий запах
Неровный или занозистый	Весьма совершенная в одном направлении	Таблички и че- шуйки	Неупругость чешуек и листочков
—	В высшей степени совершенная в одном направлении	Стопа тонких пластинок	Упругость тонких листоч- ков и чешуек
Раковистый или занозистый	Совершенная в одном направлении	Волокна	Волокнистое строение агрегатов
Землистый	—	Аморфный	Плотное, губчатое или оолитовое строение
Раковистый или зерни- стый	Нет	Октаэдры	Высокий (5,2) удельный вес и сильная магнит- ность
Неровный	Совершенная в двух направлениях	Восьмигранные призмы, мелкие столбики	В породах встречается обычно в виде мелких зерен
Занозистый	Совершенная в двух направлениях	Вытянутые стол- бики игольчатой формы	Волокнисто-лучистое строение агрегатов
Неровный	Нет	Кубики	Высокий удельный вес, равный 5
Неровный или рако- вистый	Несовершенная	Восьмигранные призмы	Зернистые массы и от- дельные зерна со сте- кланным блеском
Раковистый чешуйчатый	Смесь аморфного и скрытокристаллического вещества		Конкреции и желваки. При ударе сталью дает искры

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Классификация горных пород

Горная порода есть агрегат одного или нескольких минералов, занимающий более или менее значительное пространство. Горные породы, сложенные одним минералом, называются мономинеральными, а состоящие из нескольких минералов — полиминеральными.

Каждая горная порода представляет совокупность определенных минералов и обладает характерными для нее физическими свойствами и более или менее постоянным химическим составом. Минералы, которые являются существенной частью горной породы и определяют ее главные свойства, называются породообразующими. Прочие минералы, которые встречаются в породе в небольшом количестве, называются в торостве пенными и, как правило, для решения инженерно-геологических вопросов практического интереса не представляют.

Минеральный состав и строение определяют физико-механические свойства горной породы и находятся в тесной зависимости от тех условий, в которых образовалась эта порода, и от последующих изменений, которые она потом претерпела. Следовательно, изучение горных пород для использования в практических целях должно быть тесно увязано с их генезисом — происхождением. Только в этом случае можно будет правильно подойти к оценке горной породы как строительного камня и материала для основания под сооружения.

Все горные породы по условиям образования делятся на три большие группы:

- 1) изверженные породы, образовавшиеся в результате остывания расплавленной магмы,
- 2) осадочные породы, образовавшиеся в верхней остывшей части литосферы в результате разрушения других пород и жизнедеятельности животных и растений,
- 3) метаморфические породы, произошедшие в результате последующих изменений изверженных и осадочных пород под влиянием высокой температуры и давления.

Типичные представители этих трех групп резко разнятся по своим свойствам друг от друга, если не говорить о переходных формах, которые всегда имеют место в природе.

Изверженные горные породы

Изверженные породы подразделяются на интрузивные — застывшие на глубине и эффузивные — застывшие на поверхности Земли.

Общие свойства изверженных горных пород. Формой залегания горной породы называется внешний вид простран-

ства, которое она занимает в литосфере. Формы залегания тесно связаны с условиями образования горных пород и служат важным признаком при их определении.



Рис. 17. Батолит, частично выведенный на поверхность.

Остывая на глубине под давлением мощного покрова образовавшихся ранее горных пород, магма в отдельных местах выдавливается вверх, поднимая перекрывающие ее породы и ча-

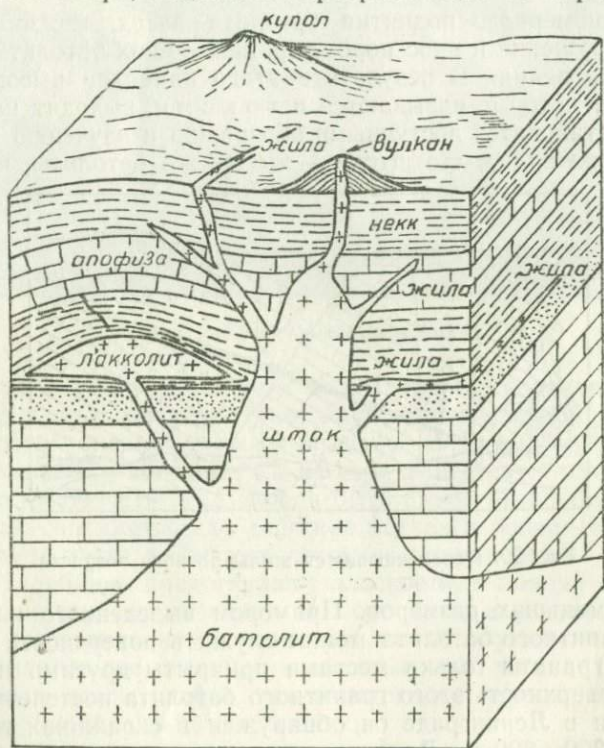


Рис. 18. Схема форм залегания изверженных пород.

стично внедряясь в них. В результате образуются огромные массивы изверженных горных пород, которые свои корни имеют в магматическом очаге барисферы. Эти массивы называются батолитами, имеют неправильную форму и в горизонтальном направлении могут проследиваться на сотни километров. В слу-

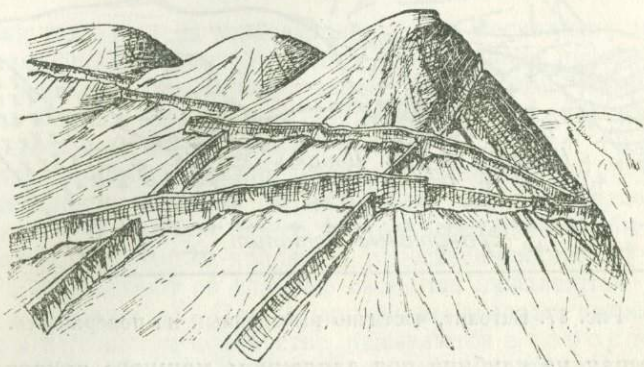


Рис. 19. Дайки.

чае закономерного поднятия батолита вверх, может происходить разрушение и снос пород, прикрывавших батолит во время его образования. В результате этого наиболее высокие части батолита, которые называются штоками, выходят на поверхность и становятся доступными обозрению и изучению (рис. 17). Из рисунка видно, что штоки — это те же батолиты, но только

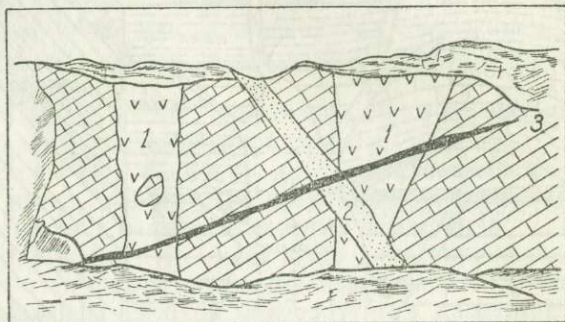


Рис. 20. Пересекающиеся жилы разного возраста.

гораздо меньших размеров. Примером выведенного на поверхность гранитного батолита может служить поверхность Финляндии, где граниты только местами прикрыты другими породами. К югу поверхность этого гранитного батолита постепенно погружается, и в Ленинграде он обнаружен в скважинах только на глубине 200—300 м. Далее к югу его поверхность опускается на очень большие глубины и бурением не вскрыта.

При внедрении магмы в вышележащие породы, в них возникают напряжения, направленные радиально от центра давления. В результате возникают расходящиеся от штока во всех направлениях трещины, в которые устремляется магма. После остывания образуются тела небольшой толщины, но прослеживающиеся на значительных расстояниях, которые называются ж и л а м и. Жилы в свою очередь часто имеют ответвления, называемые а п о ф и з а м и (рис. 18).

Направление линии пересечения жилы с горизонтальной плоскостью называется е е п р о с т и р а н и е м, а угол, который тело жилы образует с горизонтом, — п а д е н и е м. Обычно жилы имеют большой угол падения; очень часто наблюдаются вертикальные или почти вертикальные жилы. Когда магма вне-

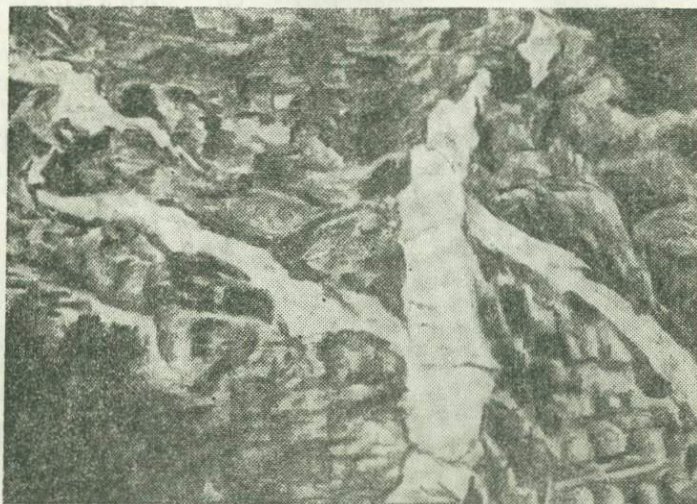


Рис. 21. Пересекающиеся жилы.

дряется по границе слоев двух разных пород, образуется п л а с т о в а я ж и л а, которая может быть горизонтальной (рис. 18). Поверхности соприкосновения жилы с вмещающими ее породами называются з а л ь б а н д а м и, а толщина жилы — м о щ н о с т ью. Мощность жил может быть самой разнообразной, от нескольких сантиметров до десятков метров и более. По простиранию жилы часто достигают десятков километров.

Если зальбанды представляют плоскости, а порода жилы более прочна, чем окружающая ее порода, то в результате длительного выветривания на поверхности образуются вертикальные или наклонные стенки, называемые д а й к а м и (рис. 19). Если породы жилы слабее, чем вмещающие породы, то наблюдаются корытообразные углубления.

После образования жил могут снова возникнуть зияющие трещины, которые будут пересекать эти жилы (рис. 20), а сле-

довательно и жилы 2, приуроченные к новым трещинам, будут пересекать образовавшиеся ранее жилы 1, причем участки более древней жилы могут быть смещены относительно друг друга (рис. 21). В дальнейшем процесс может повториться и образуются еще более молодые жилы 3 (рис. 20), которые будут пересекать все более древние.

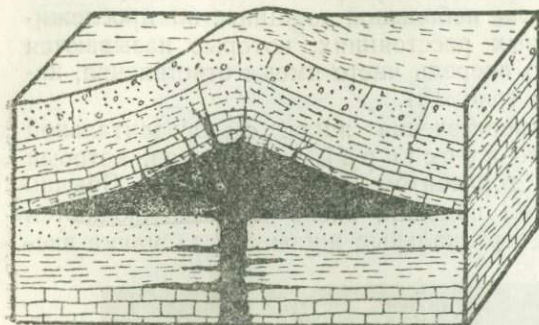


Рис. 22. Симметричный лакколит.

Следующая форма залегания изверженных горных пород называется лакколитом. Это — тело караваяеобразной формы (рис. 18 и 22), которое образуется в том случае, если магма, поднимаясь под давлением среди слоистых пород, встретит на ограниченном участке сопротивление, заметно отличающееся от сопротивления на соседних площадях. Вследствие этого про-

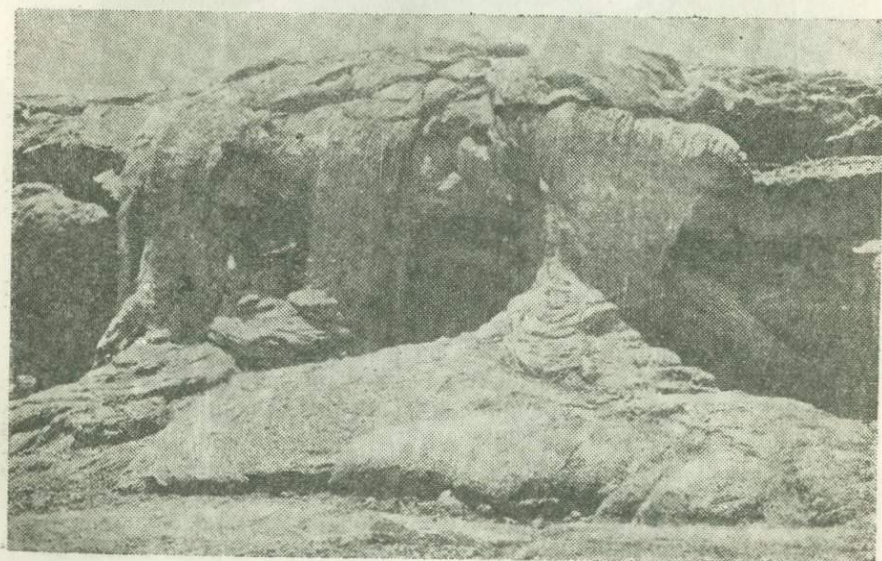


Рис. 23. Лавовый поток на одном из гавайских островов.

исходит выпирание вышележащих пород вверх и образуется лакколит. Лакколит всегда в основании имеет жилу — путь, по которому поднималась магма (рис. 18). Если жила находится против верхней части свода лакколита, то лакколит называется

симметричным (рис. 22), в противном случае — асимметричным. Лакколиты образуются на глубине 0,5—3 км от земной поверхности, т. е. в условиях резкого снижения температуры, и поэтому состоят обычно из пород, близких по своему строению к эффузивным. Лакколиты при разрушении перекрывающих их пород образуют отдельные куполовидные горы, например, Железная и Развалка на Кавказе и мыс Плака на южном берегу Крыма.

Излияние магмы на поверхность может происходить по системе трещин или из отдельных отверстий в земной коре. В зависимости от характера излияния находится форма залегания эффузивных пород.

При спокойном излиянии магмы по трещинам, она обычно покрывает значительные площади слоем небольшой мощности, который называется покровом. Если излияние происходит на склоне, то магма течет и, застывая, образует потоки, которые отличаются от покровов тем, что несут ясно выраженные следы течения (рис. 23).

Магма, выходящая на поверхность через отверстия, называется лавой. Она не является единственным продуктом, доставляемым на земную поверхность во время вулканических извержений.

В начале извержения обычно выделяется огромное количество газов, затем выбрасывается измельченный рыхлый материал — вулканический пепел и после этого — потоки лавы. Застывая вокруг выхода на поверхность главного канала, по которому происходит извержение, лава принимает своеобразную форму залегания, называемую вулканическим конусом (рис. 18, 24 и 25). На вершине каждого вулканического конуса образуется углубление, имеющее вид опрокинутого конуса, которое называется кратером (рис. 24 и 25). На склонах главного конуса или рядом с ним часто наблюдаются паразитические конусы гораздо меньших размеров, расположенные на ответвлениях центрального канала (рис. 24).

Консистенция лавы в момент извержения бывает самой разнообразной, от жидкой, дающей лавовые потоки, до тягучей пластичной массы, которая, застывая, может образовать иглы огромных размеров. Так, 1 мая 1902 г. из горы Пелэ, находя-

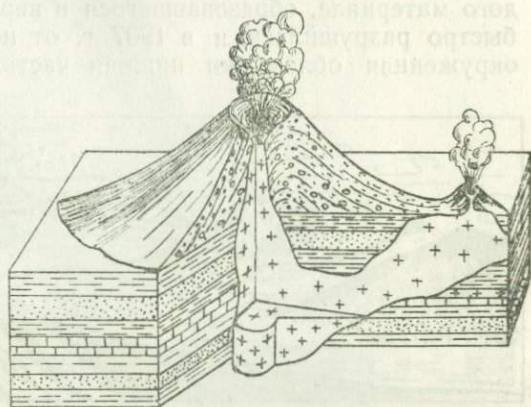


Рис. 24. Разрез вулкана.

щейся на острове Мартиника (Вест-Индия), наблюдался выброс пепла, а 8 мая произошел сильный взрыв, и огромное черное облако горячего газа и вулканического пепла с ураганной силой распространилось во все стороны. Оно было настолько плотно, что походило на жидкость и от него в городе Сент-Пьере погибло около 30 000 человек, причем смерть произошла не столько от удушья, сколько от действия горячих частиц пепла на слизистые оболочки дыхательных органов.

В результате извержения образовалась гигантская игла в 300 м высотой (рис. 26). Эта колоссальная игловидная скала медленно поднималась над кратером вулкана под влиянием огромного давления снизу. Бока ее были гладки, но в то же время изборозжены в вертикальном направлении. Очевидно, что во время извержения она состояла из твердого или почти твердого материала, образовавшегося в верхней части канала. Игла быстро разрушилась, и в 1907 г. от нее уже осталась только окруженная обломками нижняя часть. В случае замирающей



Рис. 25. Потухшие вулканы.

деятельности вулкана полное застывание лавы происходит внутри, без дальнейшего извержения на поверхность. В результате наблюдается столбообразная форма залегания, называемая неком (рис. 18).

Структурой называется строение горных пород, обусловленное формой и размерами отдельных минеральных зерен. Если порода состоит из зерен более или менее одинаковых размеров, то она обладает зернистой структурой. По абсолютной величине зерен породы зернистой структуры подразделяются на крупнозернистые — зерна от 5 до 10 мм и более, среднезернистые — от 2 до 5 мм, мелкозернистые — от едва заметных в лупу до 2 мм и плотные — отдельные зерна различимы только под микроскопом. Чем медленнее и под большим давлением происходит образование пород, тем более крупнозернистой структурой они характеризуются. В соответствии в этом крупно-, средне- и мелкозернистые структуры свойственны интрузивным породам, а плотная — эффузивным. Характерной для эффузив-

ных пород является также стекловатая структура, т. е. такая, когда отдельные зерна не различимы даже под микроскопом и порода состоит из аморфного вещества.

В том случае, когда большая часть породы состоит из мелкозернистого материала, среди которого находятся отдель-



Рис. 26. Игла горы Пеле на острове Мартиника.

ные крупные зерна — вкрапленники, структура называется порфировой (рис. 27), если же вкрапленники погружены в стекло — в витрофировой. Такие структуры образуются в том случае, когда кристаллизация породы частично произошла на большой глубине (выпали из магмы вкрапленники), но заканчивалась уже в условиях гораздо более быстрого остывания и меньшего давления. Порфировая и витрофировая структуры свойственны большинству эффузивных пород.

Иногда на фоне сравнительно мелких, неразличимых микроскопически, кристаллов наблюдаются отдельные крупные индивидуумы. Такая структура похожа на порфировую и называется порфировидной. Она наблюдается у многих интрузивных горных пород (рис. 33).

Текстурой называется сложение горных пород, характеризующееся расположением зерен минералов в породе и степенью сплошности ее.

По расположению зерен у изверженных пород различают следующие текстуры: массивную — минералы не обнаруживают никакой закономерности в своем расположении, и флюидальную — минералы расположены как бы потоками, что указывает на застывание магмы во время течения и характерно для эффузивных пород.

По степени плотности горные породы разделяются на компактные и пористые. К компактным относятся все породы, не содержащие пустот, а к пористым — такие, в которых невооруженным глазом можно различать отдельные пустоты или мелкие поры.

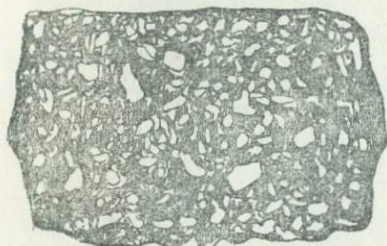


Рис. 27. Порфировая структура.

очень тонкие стенки между большим количеством пор различных размеров со стенками разной толщины.

Пористые текстуры образовались при быстром остывании тягучей лавы, содержащей пузырьки газов, причем остывание могло происходить как на поверхности земли, так и на дне водоемов.

При заполнении пор вторичными минералами, из пород с пористой текстурой образуются миндалевидные породы. Они похожи на порфировые, но отличаются от них тем, что вкрапленники имеют обычно форму отдельных миндалин, т. е. форму пустот, в которых они выкристаллизовались, а не форму кристаллов, которая свойственна минералам, их слагающим, как это наблюдается у пород порфировой структуры.

В то время, как компактные текстуры встречаются у интрузивных и у эффузивных пород, пористые текстуры свойственны только эффузивным породам, что служит очень важным признаком при определении пород.

Отдельность. В каждой горной породе, какой бы монолитной она ни казалась, при внимательном изучении всегда можно обнаружить трещины, которые разбивают породу на отдельные глыбы. Некоторые трещины очень хорошо выражены и видны без всякого труда — явные трещины, другие же имеют настолько небольшие размеры, что могут быть обна-

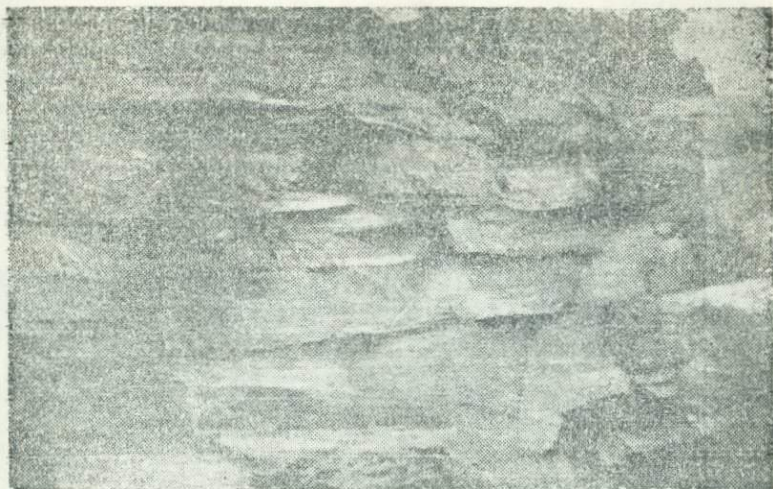


Рис. 28. Плиткообразная отдельность в граните.

ружены только с помощью метода окрашивания, т. е. погружением куска горной породы на некоторое время в красящий раствор, — неявные трещины. По своему происхождению трещины подразделяются на эндокинетические, т. е. образовавшиеся под влиянием внутренних сил, и экзокинетические, т. е. возникшие под действием внешних сил. Эндокинетические трещины не выходят за пределы той породы, в ко-

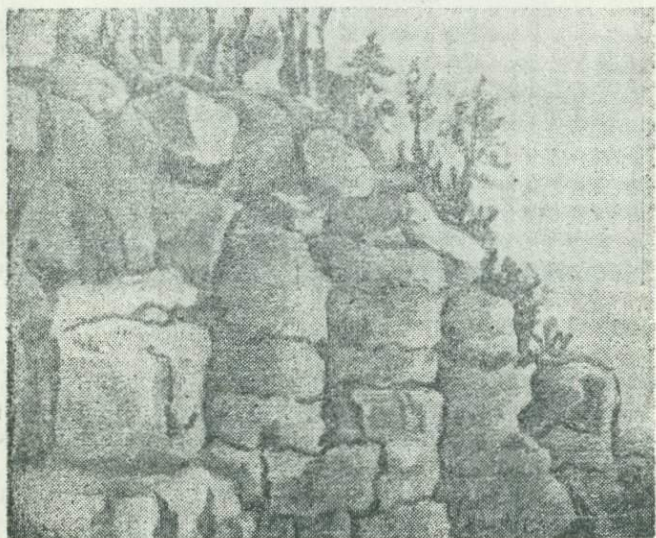


Рис. 29. Параллелепипедальная отдельность в габбро.

торой они наблюдаются и с которой связаны генетически (по происхождению), экзокинетические же трещины возникли после образования породы и часто прослеживаются на больших расстояниях и пересекают самые разнообразные породы. В изверженных породах широко развиты эндокинетические трещины, которые возникли вследствие уменьшения объема пород при их



Рис. 30. Призматическая отдельность.

охлаждения во время образования. Эти трещины называются трещинами отдельности и разбивают породу на глыбы различной формы, называемые отдельностями. Особенно рельефно выступает отдельность у пород, затронутых процессами выветривания, в то время, как у свежих пород она может быть мало заметна.

В зависимости от количества систем трещин и их взаимного расположения наблюдаются различные формы отдельности.

сти. При наличии одной системы горизонтальных трещин образуется плитообразная или плитняковая отдельность (рис. 28) — порода как бы сложена из отдельных плит, толщина которых определяется расстоянием между трещинами. В результате выветривания острые края плит сглаживаются и при сравнительно больших (0,5 м и более) расстояниях между трещинами образуется так называемая матрецевидная отдельность. Если, кроме горизонтальных трещин имеются еще

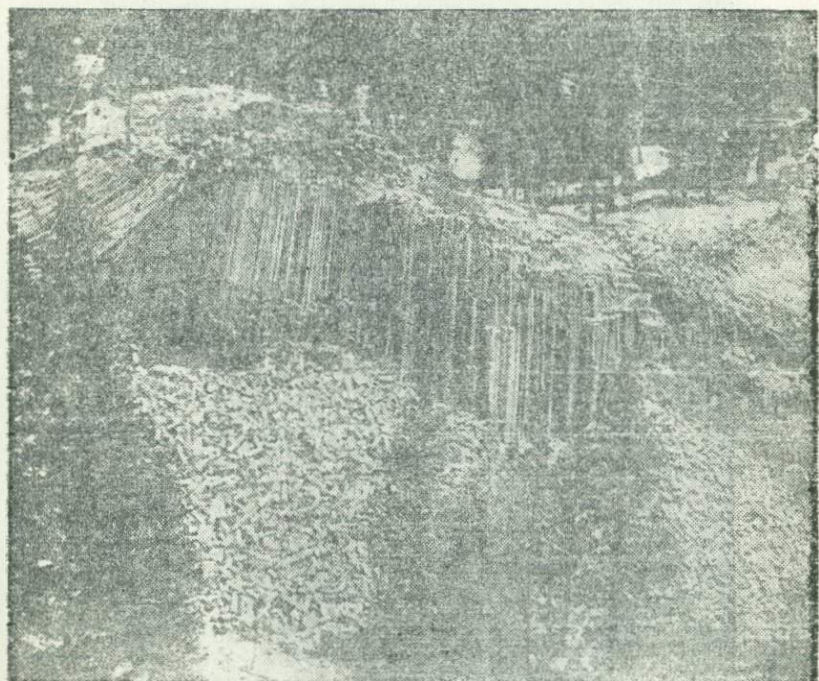


Рис. 31. Столбчатая отдельность в базальте.

две системы вертикальных трещин, то порода разбивается на параллелепипеды (рис. 29) и отдельность называется параллелепипедальной. Если системы вертикальных трещин пересекаются под прямым углом, то образуется призматическая отдельность (рис. 30), если же, кроме того, трещины всех трех направлений находятся на одинаковых расстояниях друг от друга, то порода разбивается на кубы — кубическая отдельность. Когда трещины секут породу в самых разнообразных направлениях, порода разделяется на куски различной формы и размеров, и отдельность называется неправильно многогранной, или полиэдрической. Иногда порода частыми трещинами сечется на шестигранные, пятигранные или трехгранные столбы, длина которых может иметь значительные

размеры, достигая до 60 м (Шотландия), а толщина колеблется от 1—2 см до нескольких метров, — столбчатая отдельность. Так как образование отдельности вызвано образованием трещин при охлаждении, то трещины столбчатой отдельности проходят перпендикулярно поверхности охлаждения. В том



Рис. 32. Шаровая отдельность в базальте.

случае, если эта поверхность была горизонтальной плоскостью, то образуются вертикальные столбы, если же она была кривой, то столбы, следуя ее изгибам, дают веерообразные группы (рис. 31).

Шаровая или эллипсоидальная отдельность встречается не часто и получается при излиянии лавы в водные бассейны. Она резко выявляется при выветривании, особенно в тех случаях, когда сочетается с концентрически скорлуповатым строением (рис. 32).

Столбчатая и шаровая отдельности характерны для эффу-

зивных пород, в то время как остальные отдельности наблюдаются в интрузивных породах, за исключением плитообразной, которая не составляет редкости и у эффузивных пород.

Трещины отдельности имеют большое значение при использовании горных пород в инженерных целях. При разработке пород в каменоломнях они облегчают добычу, а в дальнейшем позволяют каменотесу сэкономить много труда во время обработки. Если при столбчатой отдельности наблюдаются еще горизонтальные трещины, то порода разбивается на призмы, позволяющие с успехом использовать ее для мощения улиц, облицовки откосов и т. п.

Отдельность нежелательна только в том случае, когда горная порода разбита на очень мелкие куски, не позволяющие использовать ее в качестве штучного камня, а также в том случае, когда форма отдельности неудобна для использования камня в строительном деле, например, шаровая отдельность. Когда разбитая трещинами отдельности порода служит основанием под плотины и другие гидротехнические сооружения, необходимо учитывать возможную утечку воды по этим трещинам.

Описание главнейших изверженных горных пород

Интрузивные породы. Гранит — широко распространенная полиминеральная светлая горная порода. Цвет гранита бывает от светлосерого до мясокрасного, так как определяется цветом ортоклазов, которые составляют от 40 до 60% породы. Кроме ортоклаза, существенную роль играет кварц (20—40%) и слюда, или роговая обманка (5—10%). Ортоклаз в граните наблюдается в виде отдельных зерен неправильной формы или таблитчатых кристаллов, особенно хорошо выраженных в порфириловидных разновидностях гранитов и сиенитов (рис. 33). Кварц образует отдельные зерна неправильной формы, которые легко узнаются по неровной поверхности и стеклянному блеску. Слюды имеют вид темных (биотит) или белых (мусковит) перламутровых листочков.

Однородность гранитов часто нарушается ксенолитами — оплавленными глыбами других пород, захваченными гранитной магмой во время ее остывания. Ксенолиты наиболее обычны вблизи контакта, т. е. поверхности соприкосновения гранита с другими породами.

Для гранитов характерна равномерно-зернистая структура от мелкозернистой до крупнозернистой; встречаются также и порфириловидные граниты. Граниты, сложенные из очень крупных кристаллов, называются пегматитами и залегают обычно в форме жил и дайков.

Наиболее типичные формы залегания гранитов: батолиты, штоки и жилы.

В гранитах обычно встречается параллелепипедальная (рис. 29) или плитообразная (рис. 28) отдельности. Последняя при выветривании часто переходит в матрацевидную.

Благодаря высоким физико-механическим качествам и широкому распространению на земной поверхности, граниты как строительный материал пользуются наибольшей известностью. Мелкозернистые разновидности гранитов обладают более высокой механической прочностью и труднее поддаются выветриванию. Наличие большого количества кварца и присутствие в заметных количествах роговой обманки и авгита повышает прочность гранитов. Большие скопления слюды и присутствие ксенолитов снижают его строительные качества, а вкрапления кристаллов пирита делают гранит часто негодным для строительных целей. В зависимости от структуры и минерального состава, временное сопротивление гранитов на раздавливание колеблется в пределах 1200—1800 кг/см², снижаясь для слабых разновидностей до 1000 кг/см² и поднимаясь для исключительно крепких до 2600 кг/см². Объемный вес гранитов равен в среднем 2,6.

Среди минералов, постоянно входящих в состав гранита, наименее стойким к химическому разрушению является полевой шпат. Степень его выветрелости, главным образом, определяет пригодность гранита как строительного камня. Получить гранит с совершенно незатронутыми выветриванием ортоклазами, как правило, очень трудно, но все же в большинстве случаев он бывает в удовлетворительном состоянии. Благодаря этому, свежий гранит почти всегда удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям в отношении сопротивления морозу. Огнестойкость гранитов, однако, обычно неудовлетворительна, так как они очень чувствительны к резким колебаниям температуры. Облитый холодной водой нагретый камень дает трещины, причем наблюдается откалывание небольших частиц.

Ни одна горная порода не используется так широко в строительном деле, как гранит. Он применяется в обработанном и в необработанном виде в надземном, подземном и подводном строительстве. Для последнего требуется особо свежий гранит, так как в противном случае он быстро разрушается. Гранит используется также при сооружении памятников, колонн (Александровская колонна и колонны Исаакиевского собора в Ленинграде), цоколей и как облицовочный камень для гражданских сооружений и набережных. Кроме того, из гранита выделывают ступени, тротуарные плиты, камни для мостовых, тумбы, межевые камни, жернова и т. п.

В дробленном виде гранит идет как щебень при бетонных работах и используется на строительстве железных и шоссейных дорог, для мощения которых употребляют также небольшие гранитные валуны.

Сиенит по окраске, структуре (рис. 33), формам залегания и отличиям ничем не отличается от гранита. Главнейшим его отличием является отсутствие кварца, в то время как прочий минеральный состав остается тот же, что и у гранитов. Отсутствие кварца делает сиенит несколько мягче гранита, но зато при большом содержании авгита и роговой обманки он

более вязок. Сиенит легче гранита поддается обработке и лучше полируется. По снашиваемости сиенит часто не уступает граниту; сопротивление выветриванию у него удовлетворительное. Сопротивление на раздавливание находится в пределах 1500—2000 кг/см².

Сиениты гораздо реже встречаются на земной поверхности, поэтому их значение, как строительного камня, несравненно меньше, чем гранитов, хотя по своим технологическим свойствам они очень близки к гранитам и употребляются для тех же целей.

Диорит относится к темным породам, так как, хотя он и имеет окраску от темносерой до черной, но преобладает темно-зеленая и черная с зеленым оттенком окраска.



Рис. 33. Порфировидная структура сиенита.

Главными минералами, слагающими диориты, являются плагиоклазы, которые составляют около 75% всей породы, и роговая обманка; в подчиненном количестве присутствуют биотит и авгит.

Структура диорита обычно равномернoзернистая; порфировидные разновидности наблюдаются редко.

Диориты встречаются в самых различных районах, но никогда не образуют батолитов или больших штоков. Они всегда залегают в форме небольших штоков, дайк и жил.

Мелкозернистые разновидности диоритов с большим содержанием роговой обманки принадлежат к наиболее прочным, вязким и наименее снашиваемым породам. С увеличением содержания слюды механические свойства диоритов снижаются. Диориты более прочны, чем граниты и сиениты, и временное сопротивление на раздавливание у них равно 1800—2400 кг/см². Вследствие большой вязкости, диориты прочны на раздробление и применяются как подкладки для двигателей и подпорные камни

под мостовые фермы. Малая снашиваемость и значительная вязкость делают диориты особенно применимыми для мощения улиц, хотя они постепенно полируются и становятся скользкими. Способность хорошо полироваться позволяет рассматривать диориты как ценный облицовочный и подолочный строительный материал, причем он также применяется для украшений художественных сооружений.

В случае наличия шаровой отдельности и присутствия пирита, диорит становится мало пригодным как строительный материал.

Габбро — темная горная порода, окрашенная обычно в темнозеленые или оливковозеленые цвета; иногда встречаются также зеленовато-серые, коричнево-бурые и чернобурые окраски.

В среднем в состав габбро входит около 50% темных плагиоклазов, а остальная часть породы сложена авгитом и роговой обманкой; в небольших количествах в нем встречаются также оливин и магнитный железняк, которые делают окраску габбро еще более темной.

Структура габбро равномернозернистая, причем наиболее часто встречаются крупнозернистые разновидности. Порфирировидная структура встречается очень редко.

Габбро менее широко распространен, чем граниты и диориты; залегает эта порода в форме батолитов, штоков и дайк.

Габбро относится к числу стойких на выветривание горных пород, отличающихся очень большой прочностью. Обычно габбро имеет временное сопротивление на раздавливание 2000—2800 кг/см², а иногда даже до 3500 кг/см². Высокий удельный вес и большая сопротивляемость выветриванию делают его очень ценным камнем для гидротехнических сооружений. Однако, вследствие большой твердости обработка габбро очень трудна, что сильно снижает его ценность, как строительного камня для гражданских сооружений. Габбро хорошо полируется и часто имеет красивую окраску, почему используется как материал для колонн, карнизов и для облицовки памятников. Из него также делают шероховатые мостильные камни и получают прекрасный щебень.

В случае большого содержания сильно выветрелого полевого шпата, оливина или заметных листочков хлорита, габбро становится технически малоценным.

Перидотиты и пироксениты имеют темный цвет от зеленого до черного. Они относятся к бесполевошпатовым породам и состоят из оливина и пироксена (авгита). Если в породе больше оливина, то она называется перидотитом, если же больше пироксена, то пироксенитом. Кроме этих главных породообразующих минералов, в перидотитах и пироксенитах присутствуют обычно различные рудные минералы, обуславливающие высокий объемный вес этих пород (3,0—3,4), значительно превосходящий объемный вес гранитов (2,6).

Структура у перидотитов и пироксенитов обычно среднезер-

нистая и иногда — крупнозернистая, причем оливин нередко образует ясные кристаллы зеленого цвета с жирным блеском.

Перидотиты и пироксениты залегают обычно в форме дайк и жил, образуя иногда штоки. В свежем виде перидотиты и пироксениты отличаются высокой прочностью и стойкостью на выветривание, но, будучи в то же время очень вязкими, с трудом поддаются обработке. Большой объемный вес также уменьшает их пригодность для использования в качестве строительного камня. Они употребляются главным образом как поделочный камень и для внутренних украшений.

Разновидности перидотитов и пироксенитов с большим содержанием оливина, находящегося в стадии разрушения, нестойки на выветривание.

Все интрузивные породы представляют собой скалу и, после того как удален верхний разрушившийся слой, служат надежным основанием под любые сооружения. При возведении на них гидротехнических сооружений требуется тщательное изучение трещин, для принятия своевременных мер против утечки по ним воды.

Эффузивные породы. Кварцевые порфиры и липариты являются излившимися аналогами гранитов. Минералогический состав у них тот же, что у гранитов (полевого шпата, кварца и слюда), но структура не равнозернистая, а порфировая. Основная масса их обычно мелкозернистая или стекловатая и окрашена в различные светлые цвета: белый, серый, желтоватый и красноватый. Зерна кварца и полевого шпата образуют вкрапленники, количество и размеры которых меняются в широких пределах.

Кварцевые порфиры и липариты отличаются между собой только возрастом. Первые образовались в древнегеологическое, а вторые — в новое геологическое время. В соответствии с этим кварцевые порфиры называются древневулканическими, а липариты нововулканическими породами. Залегают они в виде потоков, покровов, куполов и лакколитов.

В свежем состоянии кварцевые порфиры и липариты представляют собой прекрасный строительный материал, качество которого, главным образом, зависит от состава и строения основной массы. При плотной структуре прочность породы возрастает с увеличением в ней количества кварца. Чем больше в основной массе стекловатого вещества, тем твердость и устойчивость породы меньше. В соответствии с этим временное сопротивление на сжатие меняется в пределах 1300—1800 кг/см².

Степень разрушения вкрапленников определяет пористость порфиров, от которой зависит способность поглощать воду, а следовательно, — морозостойкость породы и склонность к дальнейшему выветриванию. Если вкрапленники сильно разрушены, то это тем сильнее сказывается на качестве породы как строительного материала, чем больше размер вкрапленников и их количество.

Присутствие пирита снижает качество породы.

При плитообразной отдельности, кварцевые порфиры и липариты применяются в качестве тесаного камня. Способность полироваться и красивые цвета делают их хорошим поделочным материалом при изготовлении ваз, урн и памятников, обычно же они идут на щебень и в качестве мостильного камня.

Бескварцевые порфиры и трахиты образовались из магмы такого же химического состава, как и сиениты, эффузивными аналогами которых они являются. Так же как сиениты от гранитов, так и бескварцевые порфиры от кварцевых отличаются отсутствием кварца. От трахитов они отличаются только геологическим возрастом, причем относятся к древневулканическим породам.

Структура бескварцевых порфиров и трахитов порфировая, причем, в зависимости от цвета основной массы и вкрапленников, цвет породы меняется от серого до зеленовато-серого, желтоватого и красноватого. Вкрапленники представлены полевыми шпатами и очень редко — зернами темных минералов. Основная масса часто имеет пористую текстуру, вследствие чего временное сопротивление на сжатие заметно меньше, чем у других пород, и в среднем равно 600—700 кг/см².

Залегают бескварцевые порфиры и трахиты в форме потоков, покровов, жил и реже — лакколитов.

Трахиты обычно более пористы, чем бескварцевые порфиры, и в техническом отношении уступают им. Они менее прочны и сильнее снашиваются, в особенности при наличии крупных вкрапленников. Морозостойкость и сопротивляемость выветривания у трахитов также меньше.

Благодаря шероховатой поверхности, трахиты хорошо связываются с известковым раствором, но требуют предварительной замочки, так как в противном случае поглощают большое количество раствора. Полировке трахиты не поддаются.

Порфиры и андезиты окрашены в серый, темносерый, красноватый, зеленоватый и даже черный цвет. Они являются эффузивными породами, образовавшимися из диоритовой магмы, причем первые относятся к древневулканическим, а вторые — к нововулканическим породам.

Порфириты и андезиты имеют порфировую структуру. Основная масса этих пород представляет плотную или пористую мелкозернистую массу, иногда с примесью стекла. Среди вкрапленников главную роль играют плагиоклазы, кроме которых встречаются также биотитовые, роговообманковые и авгитовые вкрапленники. Временное сопротивление при раздавливании находится в пределах 1200—2400 кг/см².

Форма залегания у порфиритов и андезитов самая разнообразная. Они образуют потоки и покровы, часто жилы, а иногда даже лакколиты и штоки.

Эти породы, вследствие пористости и стекловатости основной массы, не представляют строительного материала высокого ка-

чества и идут обычно на щебень и брусчатку. При отсутствии следов выветривания, наличии красивой окраски и толстослойной отдельности они пригодны на поделки. В качестве строительного камня для ответственных сооружений и, в частности, для гидротехнических, порфириты и андезиты мало пригодны.

Ди а б а з ы и б а з а л ь т ы — эффузивные аналоги габбро, обладающие всегда темным до черного цветом. Состоят они из темного плагиоклаза и авгита и бывают не только порфировые, но часто мелкозернистой структуры и плотной текстуры. В разновидностях с порфировой структурой в виде вкрапленников выделяются обычно авгит и оливин, который иногда присутствует в этих породах.

Ди а б а з ы — древневулканические породы, образовавшиеся в большинстве случаев во время подводных извержений. Присутствие хлоритов придает диабазам черновато-зеленую окраску. В структурном отношении диабазы представляют все переходы от равномернозернистых до порфировых, но последние встречаются редко. Форма залегания диабазов — потоки и жилы, причем часто встречаются пластовые жилы значительной мощности. Там, где сохранилась поверхность диабазового потока, она имеет пузыристую шлаковую текстуру.

Свежий диабаз — стойкая порода, которая при выветривании становится бурой и распадается на богатый глиной хрящ.

Для диабазов характерна столбчатая отдельность, благодаря которой из них легко получают брусчатку для мощения улиц Москвы и Ленинграда, поставщиками которой служат месторождения, расположенные на западном берегу Онежского озера.

Временное сопротивление на раздавливание (1800—2000 кг/см²) и обрабатываемость у диабазов средние. Свежие диабазы дают очень крепкий щебень и стойкий камень для мостовых, который, однако, быстро шлифуется и становится скользким. Мелкая отдельность часто делает диабазы непригодными для получения строительного камня. Способность диабаза легко полироваться позволяет использовать его для поделок и украшений.

Б а з а л ь т ы — нововулканические породы, которые по внешнему виду представляют черные плотные лавовые образования. По своему составу лавы большинства действующих вулканов одинаковы с базальтами.

В мощных покровых базальты большей частью имеют зернистое строение, но наиболее распространенными все же являются породы порфировой структуры. В базальтах часто встречаются различные ксенолиты, которые снижают их качество как строительного материала.

Залегают базальты в виде потоков, мощных покровов, куполов и жил. Для базальтов характерна превосходно выраженная столбчатая отдельность (рис. 31), хотя встречаются также плитообразная, полиэдрическая и шаровая (рис. 32) отдельности.

Базальты очень стойки, выветриваются трудно и медленно, на что указывают очень острые края обломков на склонах, сложенных базальтовыми породами. Особенно хорошо сопротивляются выветриванию мелкозернистые разновидности, не содержащие оливина и стекла. Базальты относятся к твердым (1100—5000 кг/см²), хрупким, труднообрабатываемым породам. Однако, технические свойства их изменяются в широких пределах, часто в одном и том же месторождении. Строительные качества базальта зависят в основном от степени зернистости, характера отдельности и выветрелости добываемой породы. Мелкая отдельность базальта облегчает его разработку, но в то же время сужает круг его использования. Толстые столбы базальта дают очень ценный камень для ответственных гидротехнических сооружений, тонкие же используются для закрепления откосов дамб, мощения улиц, изготовления тумб и в качестве щебня для железных и шоссейных дорог и бетона. Ноздреватый базальт с шероховатой поверхностью медленно шлифуется и с успехом применяется для покрытия дорог и улиц. Он используется также в качестве строительного камня и идет на изготовление жерновов.

При определении пригодности базальта одним из решающих факторов является степень его выветрелости. Признаком свежести базальта служит темная окраска, твердость (основная масса породы и вкрапления должны только с трудом царапаться стальной иглой) и отсутствие глинистого запаха. Только при этих условиях лучшие сорта базальта (мелкозернистая структура и почти полное отсутствие оливина и стекла) могут применяться для гидротехнических сооружений, так как опытом установлено, что базальты более низкого качества на ватерлинии часто промерзают и растрескиваются.

Обсидиан — вулканическое стекло компактной текстуры, сходное по химическому составу с кварцевыми порфирами и липаритами. Он имеет темносерый или бурый цвет, стеклянный блеск и раковистый излом. Иногда обсидиан образует самостоятельные потоки, покровы и дайки, но гораздо чаще встречается только на их поверхности, что указывает на его образование при очень быстром охлаждении и низком давлении. Как строительный материал обсидиан интереса не представляет.

Пемза — вулканическое стекло губчатой текстуры и белого цвета; темные оттенки встречаются редко. Она образовалась в результате быстрого остывания лавы, вспенившейся от бурного выделения газов. Пемза отличается исключительно небольшим объемным весом (0,95), так что плавает в воде.

Формы и условия залегания у пемзы такие же, как и у обсидиана.

Большое количество пор делает пемзу очень плохим проводником звука и тепла, что позволяет использовать ее в качестве высокосортного теплового изолятора. В бетонных сооружениях пемза применяется как инертная примесь для повышения тепло-

изоляционных свойств бетона и уменьшения веса сооружений. На островах Липари, расположенных севернее острова Сицилия, пемзу употребляют в виде кирпичей. Пемза применяется также как абразивный материал для шлифования камня, металлов, дерева, кожи и т. п.

Вулканические туфы образуются в результате последующего уплотнения и цементации выбросов вулканического пепла и прочего мелкого твердого материала. В зависимости от того, на поверхности земли или под водой произошло извержение, туфы могут быть как наземного, так и подводного происхождения. Окраска и строение туфов отличаются чрезвычайным разнообразием, что объясняется разнородностью того материала, из которого они образуются. В состав подводных туфов входит также морской ил.

Большое разнообразие слагающего туфы материала делает очень непостоянными их физико-механические и химические свойства. Довольно прочные и стойкие против выветривания разновидности применяются как строительный камень для кладки стен невысоких зданий, а также на изготовление ступеней и орнаментов.

Особенно ценный строительный материал представляют туфы, содержащие значительное количество кремнекислоты. Камневидные компактные разновидности этих туфов называются *трассами*, а рыхлые землястые — *пуццоланами*. В измельченном в порошок виде они используются как добавки к обыкновенной извести и придают цементной смеси гидравлические свойства, т. е. способность затвердевать под водой. Это делает трассы и пуццоланы очень ценными при возведении подводных портовых и других гидротехнических сооружений.

Лавы — порода серовато-черного и черного цвета ячеистой или шлаковой текстуры, состоящая из аморфной стекловидной массы. Лавы образуются и в настоящее время при извержении вулканов.

Туфовые лавы образуются в том случае, если во время излияния жидкой лавы к ней примешивается рыхлый материал. Количественное отношение этих составных частей варьирует в очень широких пределах и наблюдаются различные переходные разновидности от лав к туфам. Туфовые лавы бывают черного, коричневого и розового цветов. Им свойственна различная текстура от компактной до пористой. Залегают туфовые лавы покровами небольшой мощности.

Твердость (80—750 кг/см²) и прочие физико-механические свойства туфовых лав изменяются в широких пределах. Пористость их достигает 60%, но тем не менее они имеют удовлетворительную морозостойкость и часто дают легкообрабатываемый красивый строительный камень, употребляемый вместо кирпича.

Как основание под сооружения, эффузивные породы мало уступают интрузивным. Несущая способность их достаточна для

возведения самых тяжелых сооружений, за исключением тех случаев, когда покровы имеют незначительную мощность, а под ними лежат очень слабые породы. Однако среди эффузивных пород очень часто встречаются пористые и сильно трещиноватые разновидности, что требует особенно тщательного изучения их водопроницаемости при проектировании любых гидротехнических сооружений.

Макроскопическое определение изверженных горных пород

Для макроскопического определения изверженных пород в отдельных образцах главное значение имеют цвет, структура, текстура и минералогический состав. При определении их в поле на помощь приходят еще формы залегания.

Правильно используя эти основные наиболее характерные свойства изверженных пород, можно без труда определять их с достаточной для предварительного суждения точностью. Определение следует делать с помощью классификационной таблицы-определителя (табл. 2). Таблица имеет три горизонтальных графы, содержащих породы: равномернозернистые, порфировые и стекловатые. Таким образом, прежде всего следует определить структуру породы, что даст возможность установить в какой горизонтальной графе она находится. После этого отпадает $\frac{2}{3}$ пород и задача заметно упрощается.

В каждой из двух верхних горизонтальных граф имеется пять групп пород, из которых две светлых и три темных. Таким образом после того, как определена структура породы и установлена горизонтальная графа, следует определить окраску. При светлой окраске остается только решить, к какой из двух групп пород относится определяемая, при темной же — к какой из трех групп. Здесь на помощь приходит минералогический состав. Так как светлые породы подразделяются на породы с кварцем и без кварца, то в случае светлой породы достаточно установить, есть ли в ней зерна кварца или нет. В первом случае это будет порода гранитовой группы, а во втором — сиенитовой. Если определяемая порода темная, то нужно сначала установить наличие плагиоклазов, а затем выяснить, какой из темных минералов преобладает, роговая обманка или авгит (в случае плагиоклазовых пород), и авгит или оливин, если порода бесполевошпатовая.

Если порода имеет стекловатую структуру, т. е. минералы в ней неразличимы, то она находится в третьей горизонтальной графе. Чтобы установить ее среди пяти указанных здесь пород, нужно прибегнуть к помощи текстурных признаков.

Отличить в отдельных образцах древне- и нововулканические породы, приведенные во второй горизонтальной графе, друг от друга трудно. Исключение представляют диабазы и базальты, вследствие того, что у первых преобладает зернистая структура (почему в таблице они и помещены между первой и второй горизонтальными графами), а у вторых — порфировая.

Классификационная таблица-определитель изверженных горных пород

Минералогический состав		Светлые (светлосерые, серые, розовые красноватые), богатые SiO_2 — кислые		Темные (темносерые, зеленые, темнозеленые, черные) богатые Mg и Fe — основные			
		Ортоклазовые		Плагиоклазовые		Бесподешаговые	
		Кварц, слюда, роговая обманка	Слюда, роговая обманка, авгит	Роговая обманка, авгит, сиенит	Авгит, роговая обманка, оливин	Авгит, оливин	
Структура							
Интрузивные (застывшие на глубине)	Равномерно-зернистая, порфировидная (все минералы различимы)		Граниты	Сиениты	Диориты	Габбро	Перидотиты (оливин), пироксениты (авгит)
						Диоразы	
Эффузивные (застывшие на поверхности)	Порфировая (минералы различимы толको вкраплениях)	Древневулканические	Кварцевые порфиры	Бескварцевые порфиры	Порфириты		Не встречаются
		Нововулканические	Липариты	Трахиты	Андезиты	Базальты	
	Стекловатая (минералы неразличимы даже под микроскопом)		Обсидианы, пемзы, туфы, лавы, туфовые лавы				

Осадочные горные породы

В первое время после образования литосфера была сложена исключительно из изверженных пород. В дальнейшем эти породы стали разрушаться под влиянием физического и химического воздействия атмосферы и гидросферы. Появившиеся на земной поверхности растения и животные тоже приняли активное участие в разрушении горных пород. В результате этого твердые монолитные скалы превращались в отдельные мелкие куски и пыль и переходили, в той или иной мере, в раствор. Эти продукты разрушения не оставались на месте, а под влиянием силы тяжести перекатыванием или стекающими водами переносились в ниже расположенные места. Скапливаясь здесь, они образовывали новые породы, которые получили название осадочных.

Отложение осадочных пород происходило и происходит в настоящее время главным образом на дне морей и океанов, так как они являются наиболее пониженными участками литосферы. У берегов скапливаются более крупные обломки, а дальше отлагаются мелкие и мельчайшие частицы разрушенных изверженных пород. Одновременно образуются породы в результате жизнедеятельности организмов и выпадения материала, принесенного в растворенном виде. Мощность (толщина) этих отложений достигает часто огромных размеров и измеряется километрами. Вследствие поднятия отдельных частей литосферы, эти образования на больших площадях выходят из-под поверхности воды и в настоящее время покрывают большую часть суши, где они доступны для обследования и изучения. Осадочные породы, образовавшиеся на дне морей и океанов, называются морскими. На суше также образуются осадочные породы, которые называются континентальными, но количество их незначительно по сравнению с морскими осадками.

В результате постепенного накопления, осадочные породы мощным чехлом перекрыли изверженные породы на земной поверхности. Только в местах, где все время происходит снос, а не накопление продуктов разрушения, изверженные породы доступны наблюдению. Также видны они там, где, вследствие вертикальных перемещений в литосфере, заметно приподняты над уровнем моря.

Если на первых этапах жизни Земли, как твердого тела, осадочные породы образовывались в результате разрушения только изверженных пород, то в дальнейшем они образуются также за счет ранее отложившихся осадочных и измененных на глубине (метаморфических) пород. Следовательно, осадочные породы есть продукты разрушения любых пород, образовавшиеся и отложившиеся в поверхностных частях литосферы. Для осадочных пород характерно, что они образуются при низкой температуре и небольшом давлении из материала, возникшего при таких же условиях.

В зависимости от того, каким путем образовались осадочные породы, они подразделяются на три основные группы: механические (обломочные), химические и органогенные.

Для строителя осадочные породы представляют особый интерес, так как главным образом на них возводятся самые разнообразные инженерные сооружения и очень часто приходится использовать их в качестве строительного материала.

Общие свойства осадочных горных пород. Формы залегания у осадочных пород не отличаются тем разнообразием, какое наблюдается у пород изверженных. Почти все осадочные породы залегают в форме пластов, т. е. тел, толщина которых часто во много тысяч раз меньше протяжения. Снизу и сверху пласт ограничен более или менее ровными и параллельными поверхностями, которые называются плоскостями напластования, причем верхняя называется кровлей, а нижняя — почвой пласта (рис. 34 и 35).

Если пласт лежит не горизонтально, а наклонно, то кровлю называют висячим боком, а почву — лежачим.

Кратчайшее расстояние между кровлей и почвой пласта (ab на рис. 34) называется его мощностью. Если мощность пласта заметно уменьшается, а затем снова увеличивается, то место с минимальной мощностью называется пережимом. При уменьшении мощности пласта до нуля говорят о его выклинивании (рис. 34).

Образование многократных пережимов или даже полных выклиниваний дает чечевицеобразный пласт (рис. 34). Если протяженность пласта мало отличается от его мощности, то такая форма залегания называется линзой (рис. 34). Очень тонкие пласты называют прослойками или пропластками.

Совокупность параллельно залегающих пластов образует свиту осадочных отложений.

Структуры осадочных пород различаются по размерам и форме слагающих их частиц.

По размерам различают следующие структуры: грубообломочная — диаметр частиц больше 2 мм, песчаная — частицы от 2 до 0,05 мм, пылеватая — от 0,05 до 0,005 мм и глинистая — частицы меньше 0,005 мм. В случае скопления более или менее одинаковых частиц, структура называется равномернозернистой, если же этого нет — разнотернистой.

По форме частиц бывают породы с окатанной и неокатанной или угловатой структурой. Если отдельные зерна имеют форму правильных шариков, структура называется оолитовой. Если частицы имеют форму иголок, волокон или листочков, то струк-

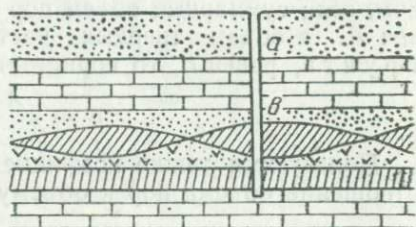


Рис. 34. Формы залегания осадочных пород.

туры соответственно называются игольчатой, волокнистой и листоватой.

Текстуры осадочных пород обусловлены расположением частиц и играют очень важную роль при их определении. Физико-механические свойства пород стоят в такой же тесной зависимости от текстуры, как и от структуры.

Особенно важным с инженерной точки зрения текстурным признаком осадочных пород является пористость, определяемая размерами и количеством пустот в породе. По размеру пустот (пор) осадочные породы подразделяются на следующие: плотные — поры на глаз не заметны, мелкопористые — различимы очень мелкие поры, крупнопористые — диаметр пор находится в пределах 0,5—2,5 мм и кавернозные — поры представляют сложные каналы различных размеров.

При инженерных расчетах пользуются главным образом количественной оценкой пор, понимая под пористостью объем пор, выраженный в процентах от всего объема породы. Таким образом, если суммарный объем пор в некотором объеме породы равен A , а объем твердых частиц, называемых скелетом грунта, равен B , то пористость n будет:

$$n = \frac{A}{A+B} \cdot 100 \quad (1)$$

Пользуются также коэффициентом пористости ϵ , называя так отношение объема пор к объему скелета

$$\epsilon = \frac{A}{B} \quad (2)$$

Если объем пор равен объему скелета, т. е. если $A = B$, то из (2) видно, что коэффициент пористости в этом случае равен единице.

Коэффициент пористости служит в механике грунтов одной из наиболее важных констант, характеризующих физико-механические свойства грунтов.

Если осадочные породы представляют скопление отдельных, не соединенных друг с другом частиц, они называются сыпучими. Когда отдельные более крупные частицы скрепляет тонкозернистый материал, называемый цементом, породы получают название цементированных и характеризуются плотной текстурой. Цементирование пород может происходить одновременно с их образованием, а также и после в результате выпадения различных солей из циркулирующих растворов. По составу различают глинистый, известковый, железистый, кремневый и другие цементы, причем характер цемента в значительной мере обуславливает плотность и твердость цементированных пород. Самыми слабыми являются породы с глинистым цементом, породы же с кремнистым цементом отличаются наибольшей твердостью.

Важным текстурным признаком большинства осадочных пород, который часто с трудом улавливается в отдельном куске, но

хорошо виден в целых пластах и свитах пластов, является слоистость. Она образуется вследствие того, что во время отложения породы состав поступающего материала не остается абсолютно одинаковым. По разнообразным причинам он меняется как по величине зерна, так и в минералогическом отношении, что вызывает чередование тонких, измеряемых миллиметрами, прослоек разной крупности зерен и окраски. Если образование породы происходит вдали от берега, где на дне водоема не наблюдается ни течений, ни волнения, то материал спокойно осаждается и образуется горизонтальная слоистость, параллель-

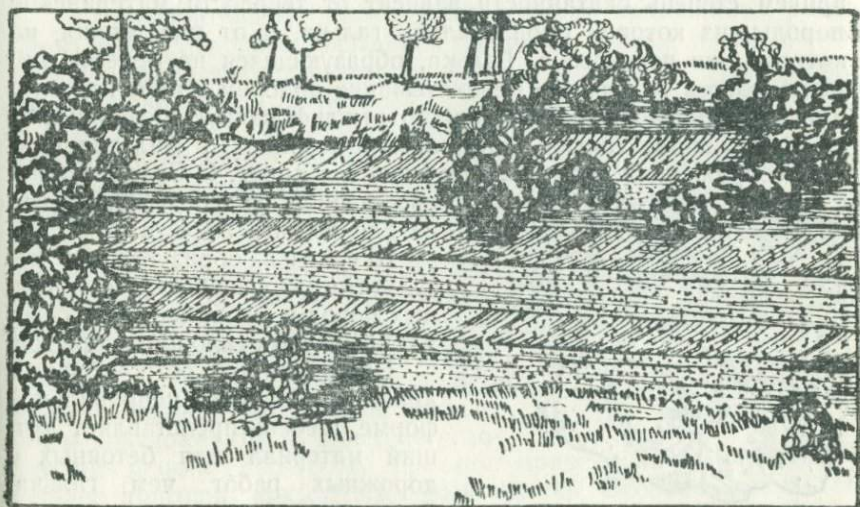


Рис. 35. Горизонтальная и косая слоистость в песчаниках.

ная плоскостям наслоения (рис. 35). При накоплении осадков в условии воздушных или водных течений образуется косая слоистость (рис. 35). Она расположена под косым углом к плоскостям наслоения и отражает последовательную смену силы потока, отлагавшего материал.

Описание главнейших осадочных пород

Обломочные породы. Главнейшими признаками, по которым классифицируются обломочные породы, являются: крупность зерна, степень окатанности и сцементированность (табл. 3). В свою очередь, эти признаки определяют пористость и другие физико-механические свойства обломочных пород, изучение которых входит в задачи механики грунтов.

Валуны и глыбы — крупные обломки плотных горных пород. Края валунов сглажены во время переноса их передвигающимися массами льда или бурными мощными водными по-

токами. Глыбы представляют обломки, находящиеся на месте их образования, и характеризуются острыми краями.

Валуны широко развиты в северных районах СССР и представляют ценный материал для мощения шоссеиных дорог. Они имеют часто несколько метров в диаметре и достигают иногда огромных размеров. Так, например, пьедестал памятника Петру I в Ленинграде высечен из валуна, извлеченного из Лахтинского болота.

Г а л ь к а образуется в результате переноса обломочных пород речными водами и имеет форму, приближающуюся к шаровой, причем степень окатанности зависит от твердости материнской породы, из которой образовалась галька, и от расстояния, на которое она перенесена. Галька, образующаяся на берегах морей и озер в результате перекачивания прибоем, имеет плоскую или яйцевидную форму и хорошо отшлифованную поверхность.

Применяется галька в бетонных постройках, в фильтрационных сооружениях, а также для мощения дорог. В Средней Азии известковая галька употребляется для обжига извести.



36. Рис. Конгломерат (натуральная величина).

Щебень образуется в результате разрушения крепких горных пород и скапливается у оснований крутых склонов и обрывов.

Благодаря остроугольным краям и вообще неправильной форме, щебень представляет лучший материал для бетонных и дорожных работ, чем галька. В качестве наполнителя для бетона щебень должен обладать механической прочностью, соответствующей прочности сооружения.

Поверхность кусков щебня должна быть свободна от глинистых и пылеватых частиц, общее содержание которых не допускается более 5%.

Г р а в и й состоит из более или менее окатанных обломков отдельных минералов и горных пород. Гравий — широко распространенная порода, образующаяся по берегам морей, озер и рек.

Гравий применяется в железобетонных сооружениях и в дорожном строительстве, а также идет на устройство фильтров в гидротехнических сооружениях. Перед употреблением гравий обычно подвергается просеиванию и промывке для очистки его от глинистых примесей, которыми он в большинстве случаев загрязнен.

Д р е с в а образуется в результате полного разрушения зернистых, главным образом изверженных, горных пород. Практического значения, как строительный материал, дресва не имеет. Перед закладкой фундаментов дресвяный слой снимают и сооружение возводят на свежей скале.

Конгломерат образуется в результате цементирования сыпучих пород грубообломочной структуры, сложенных из окатанного материала (табл. 3 и рис. 36). Большинство конгломератов сложено из кварцевой гальки, так как кварц наименее подвержен выветриванию, но встречаются также конгломераты и из гальки других пород. Конгломерат из гальки эффузивных пород называется вулканическим конгломератом. Слагающая его галька образовалась в результате окатывания продуктов извержения, попавших в воду. Хотя гальки бывают сцементированы самым разнообразным цементом, но наиболее часто он состоит из кремния и окиси железа.

Как строительный камень, конгломерат применяется редко, так как вследствие окатанной формы, гальки недостаточно прочно связываются цементом, чтобы дать крепкую горную породу.

Конгломерат в несколько сот метров мощностью известен в окрестностях Симферополя, мощные слои конгломерата встречаются также в Фергане.

Брекчия состоит из неокатанных грубых обломков, сцементированных в компактную горную породу (табл. 3 и рис. 37). Так как брекчии не являются водным отложением, то они распространены гораздо меньше, чем конгломераты. Вследствие угловатой формы обломков, брекчии прочнее конгломератов и более пригодны как строительный камень. Особенно ценятся за красоту брекчии с известковым цементом.

Пески представляют собой рыхлую породу, состоящую из зерен различных минералов диаметров от 0,05 до 2 мм. В зависимости от размеров слагающих частиц, пески подразделяются на грубозернистые, крупнозернистые, среднезернистые и мелкозернистые (табл. 3). Главной составной частью песков обычно являются зерна кварца, а зерна других минералов (полевые шпаты, слюда, магнетит и др.) имеют второстепенное значение. Иногда встречаются пески, состоящие почти исключительно из зерен таких минералов, как доломит, гипс, магнетит и т. п.

Пески образуются в результате переноса и отложения частиц измельченных крепких пород текучими водами и ветром, а также накапливаются в прибрежных частях морей. Морские пески отличаются однородностью, окатанностью зерен и ничтожным содержанием глины и окиси железа. В то же время слои их имеют большую мощность и прослеживаются на значительных расстояниях. Таким образом, морские пески имеют все преимущества перед песками, отложенными ветром и текучими водами, которые обычно, в той или иной мере, загрязнены глиной и образуют небольшие залежи.

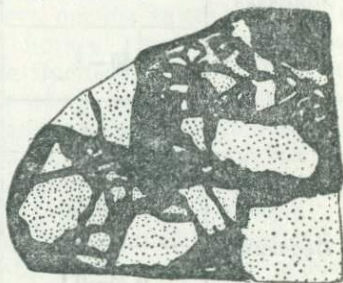


Рис. 37. Брекчия из кусков сенига, цементированных магнетитом.

Классификация обломочных пород

Структура	Диаметр частиц в мм	Сыпучие		Цементированные	
		Окатан- ные	Неокатан- ные	Окатан- ные	Неокатан- ные
Типовые породы					
Грубооб- ломочная	> 200	Валуны	Глыбы	Конгло- мерат	Брекчия
	200—50	Галька	Щебень		
	50—2	Гравий	Дресва		
Песчаная	2—1	Грубозернистый песок		Грубозерн. песчаник	
	1—0,25	Крупнозернист. песок		Крупнозерн. песчаник	
	0,25—0,1	Среднезернист. песок		Среднезерн. песчаник	
	0,1—0,05	Мелкозернист. песок		Мелкозерн. песчаник	
Пылеватая	0,05—0,005	Лесс		Не встречаются	
Глинистая	< 0,005	Глина			
Переходные разновидности					
Неравно- мернозер- нистая	3% глины, осталь- ное песок и пыле- ватые частицы	Глинистый песок		Песчаник	
	3—12% глины, ос- тальное песоки пы- леватые частицы	Супесь			
	12—25% глины, ос- тальное пылеватые частицы и песок	Суглинок		Не встречаются	
	> 25% глины, ос- тальное пылеватые и песчан. частицы	Песчаная глина			

Пески очень широко распространены на земной поверхности и находят применение в самых разнообразных отраслях промышленности. Наиболее ценятся кварцевые пески, которые применяются для самых различных целей в строительном деле. В случае использования для бетона, песок должен быть без глины и без органических примесей. Кроме строительного материала, пески употребляются также в литейном деле, для изготовления стекла, как огнеупорный материал, для керамического производства, в металлургии, в качестве шлифующего материала и в химической промышленности, как составная часть красок, спичек и т. п. В зависимости от применения песка изменяются и предъявляемые к нему требования.

При оценке, как основание сооружений, пески обладают рядом положительных сторон. Пористость песков заметно меньше, чем пористость других обломочных пород (лесс, глина); она обычно равна 30—40% и никогда не превышает 50%. Под нагрузкой уплотнение песка происходит почти немедленно и имеет небольшие размеры, что исключает длительные разрушительные осадки. К очень важным свойствам песка относится также особенность не изменять объем при высыхании и увлажнении и способность поглощать, пропускать через себя и отдавать воду.

Наиболее рыхлым является сухой, отложенный ветром песок, который в таком состоянии не может служить надежным основанием под механизмы, так как при сотрясении заметно уплотняется. При капиллярном увлажнении, вследствие капиллярного натяжения, такой песок уплотняется и может служить хорошим основанием под тяжелые сооружения.

Песок, поры которого полностью заполнены водой, превращается в кашеобразную массу и получает способность течь, независимо от крупности зерен, из которых он сложен. Однако, мелкие пески с зернами около 0,1 мм в диаметре, скорее переходят в текучее состояние, чем более крупнозернистые. Это объясняется тем, что вода, протекающая через мелкозернистый материал, встречает большее препятствие на своем пути, легче уносит отдельные частицы и скорее приводит всю массу в движение, чем в случае крупнозернистого песка. Для течения воды в песке нужна разность напоров. Следовательно, для того, чтобы песок начал течь, он должен быть не только насыщен водой, но еще должна существовать разность напоров.

Чем крупнозернистее песок, тем большая разница напоров необходима, чтобы он пришел в движение. Разность напоров получается при вскрытии насыщенного водою песков в котлованах, выемках, карьерах и буровых скважинах. Песок устремляется в выработку и заполняет ее. При этом наблюдается движение не только сверху вниз, в силу тяжести, но под напором происходит также движение снизу вверх, и песок, заполнив выемку, может даже выходить на поверхность, как это имело место в с. Шнейдемюль в Познани, где плавун, вскрытый буровым колодцем на глубине около 62 м, выступил на поверхность. В ре-

зультате этого образовались пустоты, в которые прогнулись вышележащие породы, и было разрушено 14 домов. Борьба с песком в плывучем состоянии всегда очень трудна и часто остается безрезультатной. Для облегчения проходки применяют понижение уровня подземных вод или наполнение котлована водой, чем достигается уменьшение разности напоров, и плывучие пески не заполняют выработки. Выемка песка в этом случае производится помощью землечерпательных машин. В последнее время при проведении земляных работ в разжиженных песках применяют метод промораживания, а также метод закрепления химическим путем. Для химического закрепления в песок нагнетаются жидкое стекло и растворы солей. Соединяясь между собой, они дают быстрое и долговременное укрепление грунта, который становится водонепроницаемым, кислотоупорным и значительно прочным на сжатие (30—60 кг/см²). Однако очень мелкозернистые пески обладают малой водопроницаемостью и малой водоотдачей, вследствие чего они плохо поддаются закреплению химическим путем и осушению.

В том случае, когда насыщенные водой пески не имеют возможности двигаться, они являются вполне надежным основанием даже под большие ответственные сооружения.

При проектировании ответственных сооружений важно исследовать район распространения перенасыщенных водой песков и установить, не выходят ли они в отрицательных местах рельефа, а также в моря, озера и реки. Если выход песков будет обнаружен близко, то необходимо путем расчетов проверить возможность выпирания их под тяжестью возводимого здания.

Песчаники образуются в результате цементации песков тем или другим цементирующим веществом. По роду цемента песчаники получают соответствующие названия: кремнистый, железистый, известковый, битуминозный, мергелистый, глинистый, гипсовый и т. п. По крупности цементированных зерен, песчаники, также как и пески, подразделяются на грубозернистые, крупнозернистые, среднезернистые и мелкозернистые (табл. 3).

Цвет песчаников зависит, главным образом, от окраски цементирующего вещества. Железистые песчаники имеют желтый или красноватый цвета, кремнистые и известковые — белый. Известковый и мергелистый песчаники легко узнаются по вскипанию под действием соляной кислоты, глинистый же — по характерному запаху при дыхании на него.

В зависимости от цементирующего вещества, механическая прочность песчаников меняется в широких пределах (150—2600 кг/см²). На механические свойства также влияют: величина, форма и степень однородности цементированных зерен, так как они определяют пористость породы, а следовательно и ее морозостойкость. Последняя зависит также и от скрытой слоистости, которая обнаруживается путем погружения в красящий раствор. Присутствие пирита (серный колчедан), примесь углистых ве-

ществ и т. п. сильно снижают сопротивление песчаника выветриванию, даже при высокой его механической прочности.

Наиболее высококачественный строительный материал дают кремнистые песчаники, в то время как глинистые и гипсовые песчаники очень легко выветриваются и совершенно непригодны для водных построек и фундаментов.

Песчаники не менее огнестойки, чем другие плотные породы, но при одновременном действии огня и воды они растрескиваются.

Как основание под сооружения, многие песчаники по своим качествам приближаются к изверженным горным породам.

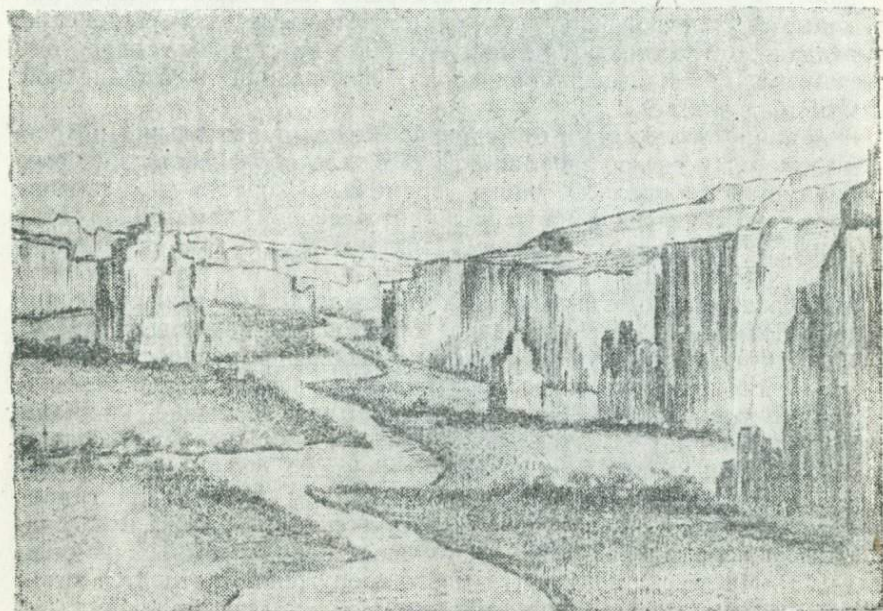


Рис. 38. Лессовые берега.

Лесс является типичным представителем пылеватых горных пород с диаметром частиц от 0,05 до 0,005 мм (табл. 3). Он представляет желто-бурую тонкозернистую неслоистую породу, которая состоит в основном из чешуек каолинита, угловатых зерен кварца и углекислого кальция, количество которого в некоторых случаях достигает до 30% по объему. Лесс мягок и легко разрабатывается, обладая в то же время характерной для него особенностью прекрасно держать вертикальные стенки значительной высоты (рис. 38), хотя слагающие его частицы не сцементированы между собой. Другой отличительной чертой лесса является его высокая (до 50%) пористость, которая в значительной мере выражена в виде пронизывающих лесс вертикальных трубочек.

Строение и большая пористость объясняются эоловым происхождением лесса. В сухих континентальных областях, где почти отсутствует растительность, воздух всегда насыщен пылью. При сильных ветрах она поднимается в огромных количествах и переносится на большие расстояния. Атмосфера при этом настолько сильно переполняется пылью, что принимает желтоватый оттенок, а солнце кажется желтовато-матовым. Отнесенная ветром на большие расстояния, пыль медленно оседает, увеличивая с течением времени мощность лессовых отложений. С увеличением мощности наносов корни растений не могут проникать на ту глубину, на которую они опускались раньше, и постепенно отмирают. В результате, на месте отмерших корней образуются каналы, обуславливающие высокую пористость лесса. выпадающие осадки быстро стекают по ним вглубь, а на стенках каналов образуется белая известковая корка, называемая в Украинской ССР белоглазкой.

Мощность лессовых отложений бывает от нескольких метров до 400 м (в северо-западном Китае), для образования которых видимо потребовалось много времени. Скорость накопления лесса, установленная на основании раскопок памятников старины, видимо близка к одному миллиметру в год. Вследствие того, что лесс отлагается ветром, он образуется на самых разнообразных абсолютных отметках и залегает на различных породах. Есть указания на водное образование некоторых лессов, но такие лессы имеют сравнительно небольшое распространение.

Лесс очень широко распространен на земной поверхности и занимает около 4% суши. Он покрывает большие площади в южной части СССР, в Китае, США и т. д. Это делает его одной из тех горных пород, с которой строителю очень часто приходится иметь дело. Деривационные каналы Чирчикских гидроэлектростанций на большом протяжении проходят в лессах, в лессах же проводятся оросительные каналы южных районов СССР. На лессах возводится много сооружений и строятся крупные промышленные комбинаты.

В сухом виде лесс представляет неплохое основание под сооружение любого типа, но при увлажнении в большинстве случаев подвержен сильному уплотнению, в результате которого получаются значительные просадки. Просадочность лесса является следствием его высокой пористости и должна всегда учитываться при проектировании любого сооружения, а в особенности — гидротехнического.

Насколько разрушительными могут быть просадки даже для сравнительно небольшого здания, видно на примере школы в г. Туле (рис. 39). Еще большие затруднения просадки в лессах создают на судоходных, деривационных и оросительных каналах (рис. 236).

Сухость и высокая пористость лессовых отложений позволяют строить в них удовлетворительные с санитарной точки зрения жилища, которыми еще до настоящего времени пользуются

в некоторых странах. В южных районах СССР лесс используется для изготовления кирпича низкого качества.

Глины — наиболее мелкозернистые обломочные породы, сложенные чешуеобразными частицами каолинита, размеры которых меньше 0,005 мм в сечении (табл. 3). Кроме каолинита, в глинах могут присутствовать мелкодробленные алюмосиликаты, кварц и другие минералы. Глины имеют самые разнообразные окраски — от белых или светложелтых каолинов до черных жирных глин. Они встречаются везде и являются одной из самых распространенных пород на земной поверхности.

В сухом виде глина представляет плотную, легко растирающуюся в порошок породу, которая при увлажнении дает сильно пластичную, жирную наощупь массу.

Обладая очень мелкой, но в то же время очень значительной пористостью, которая может в современных, отложившихся на дне водоемов, глинах достигать до 98%, глина жадно поглощает воду. При этом она заметно увеличивается в объеме (набухает) и становится пластичной и водонепроницаемой. В случае последующего высыхания глина снова уменьшается в объеме и растрескивается на отдельные кусочки.

Под действием внешней нагрузки неуплотненные разновидности глин сильно сжимаются, но это сжатие происходит очень медленно и может продолжаться сотнями лет, как об этом свидетельствует наклонная башня в г. Пизе (рис. 4). Тяжелые здания, возводимые на таких глинах, могут давать значительные и часто неравномерные осадки, что приводит к сильным деформациям и даже полному разрушению зданий.

После обжига пластичная глинистая масса становится крепкой как камень. Это делает глину очень важным сырьем для кирпичного производства, на которое обычно идут более низкие



Рис. 39. Деформации здания школы в г. Туле в результате просадки грунта, вызванной замачиванием при тушении пожара.

сорта. В этом случае от глины только требуется, чтобы она хорошо формовалась, обжигалась при возможно низкой температуре и не растрескивалась после обжига.

Глина, состоящая из чистого каолинита, имеет белую окраску и называется фарфоровой глиной или каолином. Она служит сырьем для изготовления фарфоровой посуды.

Глины, содержащие большое количество бурого железняка (лимонита), часто переходят в бурое или желтое землистое вещество, называемое охрой, которое используется как минеральная краска.

Рассмотренные осадочные породы встречаются в природе почти всегда в той или иной мере смешанными между собой и часто при макроскопическом осмотре бывает трудно решить, к какой породе более правильно отнести определяемый образец. Для этого пользуются гранулометрическим анализом, т. е. с помощью сит и отмучивания определяют процентное содержание зерен разного диаметра. При этом породу относят к той группе, максимальное количество зерен которой было обнаружено анализом. Однако, примеси зерен других размеров (фракций) могут заметно менять физико-механические свойства типовой породы, что делает необходимым выделять промежуточные типы. К таким промежуточным породам между песками и глинами относятся: глинистый песок, супесь, суглинок и песчаная глина (табл. 3). Поскольку эти породы содержат зерна различных фракций, их структура будет неравномернoзернистой.

Глинистый песок отличается от обычного примесью глины до 3% (табл. 3), которая исключает его использование в тех отраслях промышленности, где требуются чистые пески. Примесь глины уменьшает водопроницаемость песка и облегчает переход его в плавучее состояние.

Супесь представляет собой переход от песков к глинам. Количество глинистых частиц в ней возрастает до 3—12%, а остальные 97—88% составляют песчаные и пылеватые частицы, причем песчаных частиц больше, чем пылеватых (табл. 3). Фильтрующая способность супеси гораздо меньше, чем у песка. Она быстро поглощает воду, но медленно отдает ее. Супесь тем легче переходит в плавучее состояние, чем мельче песчаные зерна, входящие в ее состав.

Суглинок содержит настолько большое количество глинистых частиц (12—25%), что по своим свойствам напоминает глину. По текстурным признакам выделяют нормальные и лессовидные суглинки. Первые имеют более или менее плотное строение и в сухом состоянии хорошо держат откосы. Лессовидные суглинки в большинстве случаев образовались в результате выветривания лесса, которое выражается в растворении известковых корочек. Они держат очень крутые откосы и могут нести нагрузку не меньше других суглинков, но только до тех пор, пока не увлажнены.

Песчаная, или тощая глина содержит более 50%

глинистых и пылеватых частиц (табл. 3), но все же количество песка еще довольно значительно, что делает ее менее пластичной по сравнению с жирной глиной, содержание песчаных частиц в которой не превышает 20%.

Особое место среди обломочных пород занимают валунные или моренные глины и суглинки, состоящие из самого разнообразного материала, от тончайших глинистых частиц до валунов. В соответствии с этим, физико-механические свойства их меняются в весьма широких пределах. Такое строение обуславливается образованием этих суглинков и глин в результате перетиранья и переноса плотных пород передвигающимися ледниками.

Химические и органогенные породы. Породы химического и органогенного происхождения связаны множеством взаимных переходов и не всегда достаточно точно можно установить генезис отдельных представителей этих пород. Поэтому описание главнейших химических и органогенных отложений целесообразно дать одновременно.

Известняки бывают как химического, так и органогенного происхождения, но независимо от этого они всегда представляют мономинеральную породу, состоящую из кальцита. Другие минералы в них встречаются только в виде случайных примесей и существенной роли не играют. Наиболее часто в известняках встречаются глина и песок. Чистые известняки имеют белый цвет, который, в зависимости от окраски примесей, принимает различные оттенки.

По структуре известняки бывают самыми разнообразными: крупнозернистыми, среднезернистыми, мелкозернистыми, неравномернозернистыми, землистыми и оолитовыми. В то же время по текстурным признакам они бывают плотные, мелкопористые и крупнопористые, а также кавернозные. Кроме того, различают слоистые и неслоистые, рыхлые и цементированные известняки. Цементом могут служить: кремнекислота, железистые соединения, асфальт и т. п. В зависимости от цемента, примесей и строения, известняки сильно разнятся по своим физико-механическим свойствам и получают самые разнообразные названия. Так, например, кремнистые известняки имеют до 50% кремнекислоты и обладают большой твердостью и стойкостью на выветривание; песчаные известняки содержат кремнекислоту в виде отдельных песчинок и при увеличении ее содержания переходят в известковистые песчаники; железистые известняки цементированы большим количеством окиси или гидрата окиси железа, получая соответственно красную или желтовато-коричневую окраску; асфальтовые известняки бывают настолько сильно пропитаны битумом, что окрашены в черный цвет и используются для получения асфальта; оолитовые известняки состоят из отдельных шариков, цементированных известковой же массой.

Большинство известняков органогенного происхождения и образовалось в морях, в результате жизнедеятельности разнооб-

разных животных организмов и водорослей. Часто они образуются путем скопления известковых раковин отмерших моллюсков, представляя собой цементированные ракушки, и называются известняками-ракушечниками. Они сильно пористы, плохо проводят тепло и звук и имеют небольшой объемный вес, что позволяет местному населению юга РСФСР использовать их в качестве ценного строительного камня. Для ответственных сооружений они мало пригодны, так как сравнительно легко разрушаются и имеют небольшое изменяющееся в чрезвычайно широких пределах временное сопротивление на сжатие ($10\text{--}680\text{ кг/см}^2$).

Особенно широко распространены известняки, образовавшиеся за счет скелетов кораллов и выделяющих известь морских водорослей. Они образуют мощные пласты часто плотных известняков, временное сопротивление которых достигает 1150 кг/см^2 и больше. По внешнему виду не всегда можно установить их органическое происхождение, так как иногда слагающие их скелеты настолько малы, что неразличимы простым глазом, а иногда они подверглись сильной перекристаллизации.

Известняки химического происхождения играют незначительную роль по сравнению с органическими известняками. Наиболее часто встречающимися представителями их являются оолитовые известняки, известковые туфы и натёки.

Шарики, слагающие оолитовые известняки, бывают размерами от просяного зерна до горошины и имеют скорлуповатое или радиально-лучистое строение. Иногда шарики погружены поодиночке в известковую массу, иногда же они преобладают и распределены равномерно, плотно соприкасаясь между собой. Оолитовые известняки не обладают высокими техническими качествами. Они мало морозостойки, так как отдельные шарики заметно меняются в размерах при колебании температуры, что быстро ослабляет породу и нарушает ее целостность даже при достаточно прочном цементе. Для наиболее плотных разновидностей оолитовых известняков временное сопротивление находится в пределах $160\text{--}200\text{ кг/см}^2$. В этом случае они иногда применяются как строительный камень.

Известковые туфы образуются в результате выпадения CaCO_3 из богатых углекислотой выходов воды на поверхность. Они обычно имеют пористую, ноздреватую и шлаковидную текстуру, незначительную мощность и неправильные формы залегания. Только при выпадении из горячих вод они образуют более значительные отложения. Свежий известковый туф мягок, но после высыхания твердеет и применяется как декоративный материал. Объемный вес туфа в среднем около $1,65$, а временное сопротивление сжатию обычно несколько больше 100 кг/см^2 , однако, для некоторых разновидностей пятигорских туфов, залегающих на склоне горы Машук, оно достигает 800 кг/см^2 .

В пустотах и пещерах образуются известковые натёки, которые имеют ясно выраженную натечную форму. Одни из них —

сталактиты — свисают с потолка в виде образований, напоминающих ледяные сосульки, другие — сталагмиты — представляют собой такие же сосульки, но расположенные на полу и обращенные острием вверх (рис. 40). Рост сталактитов и сталагмитов происходит за счет выпадения извести из богатой ею воды, просачивающейся с потолка через трещины и пустоты, которые всегда имеются в горных породах. При этом сталактиты растут сверху вниз, а сталагмиты — снизу вверх и часто, срастаясь вместе, образуют эффектные колонны (рис. 40).



Рис. 40. Сталактиты и сталагмиты в пещере.

В поле известняки легко отличаются от других похожих горных пород (доломитов) по бурному вскипанию при действии соляной кислоты.

Известняки применяются не только как камень в строительной промышленности, но и в качестве вяжущего в известковой и цементной промышленности. Кроме этого, известняки, как флюс, используются в металлургии, в химической промышленности и в других отраслях народного хозяйства. Большое потребление известняка прекрасно видно из тех огромных цифр добычи, которая в последнее время в больших государствах превышает десятки миллионов тонн.

Способность известняка растворяться циркулирующими по трещинам водами и образовывать пустоты требует очень тщательного их изучения при устройстве ответственных сооружений. Особенно это относится к гидротехническим узлам, где полная

уточка воды в известняки может сделать нереальным прекрасно проработанный со всех других точек зрения проект.

Мергель занимает промежуточное положение между известняком и глиной. Когда в известняке количество глинистых частиц достигает 5—15%, он называется мергелистым; при дальнейшем увеличении глины до 80%, порода получает название мергеля, а при большем содержании глины она имеет уже все свойства глины и называется известковистой или мергелистой глиной. Присутствие CaCO_3 в мергеле и мергелистой глине легко обнаруживается с помощью соляной кислоты.

Цвет мергеля определяется цветом глинистого вещества и бывает самый различный: серый, желтый, коричневый, красный и т. п.

Физико-механические свойства мергеля находятся в тесной зависимости от количества глинистой примеси. Мергель с большим содержанием CaCO_3 представляет твердую породу, близкую к известняку, от которого его можно отличить лишь по грязному осадку, остающемуся на месте воздействия соляной кислотой. При содержании глины более 50%, мергель уже напоминает глинистую породу.

Как строительный камень, мергель ценности не представляет, но ценится как материал для портланд-цемента, заменяя искусственную смесь известняков и глин, которая для этого употребляется. Новороссийское и Амвросиевское месторождения поставляют мергель, который без каких-либо добавок дает сырье для портланд-цемента высшего качества. Из глинистых и магнезиальных мергелей путем умеренного обжига получают роман-цементы, которые после обжига не гасятся смачиванием водой, а превращаются в порошок механическим способом.

Мел представляет собой белую или желтоватую землистую разновидность органогенного известняка, состоящую из микроскопически малых раковин фораминифер. Он широко развит среди горных пород и имеет значение как материал для извести, в химической промышленности и т. п.

Доломит — мономинеральная порода, состоящая не менее чем на 95% из минерала доломита ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Остальные 5% обычно приходится на кальцит (CaCO_3). В природе чистые доломиты встречаются не часто, а наблюдается целый ряд переходов от доломита к известняку, которые можно установить только с помощью химического анализа.

Цвет доломитов обычно белый, серый или кремовый. Им свойственны самые разнообразные структуры и текстуры, в зависимости от которых наиболее часто встречающиеся разновидности доломитов называются: зернисто-кристаллические или сахаровидные, песчаниковидные, рыхлые, мучнистые, ячеистые и т. п.

По внешнему виду доломит часто неотличим от известняка, но опознается тем же методом, как и минерал доломит,

а именно по его способности вскипать только с подогретой соляной кислотой (НСI) или будучи растертым в порошок.

Подтверждающими определению признаками служат также отсутствие у доломита характерного для известняков раковистого излома и шероховатая, как бы песчаная, с мерцающим блеском поверхность излома. Кроме того, выветриваясь, доломит дает с поверхности желтовато-серый или беловатый порошок (доломитовая мука), который постепенно переходит в свежую породу; у известняков же поверхность выветривания более гладкая и плотная.

Кристаллические разновидности доломитов идут на строительный камень, а окремневший доломит дает щебень удовлетворительного качества. Чистые доломиты используются как ценный огнеупорный материал для футеровки мартеновских печей.

Диатомит и трепел состоят из чистого кремнезема и макроскопически не отличимы друг от друга, но различны по происхождению. В то время как диатомит — органогенного происхождения и состоит из микроскопических водорослей, трепел представляет собой скопление мелких зернышек опала (разновидность неорганического кремнезема).

Диатомит и трепел представляют собой белую или желтоватую пористую, очень легкую (объемный вес 0,4—0,8) и очень мягкую рыхлую породу, слегка сцементированную и похожую на мел. От последнего она отличается тем, что совершенно не вскипает с соляной кислотой.

Диатомит и трепел имеют большое значение как строительный материал. Они применяются в качестве гидравлических добавок к известковым и цементным растворам, идут на изготовление огнеупорного кирпича и для изоляции паровых труб. В химическом производстве диатомит и трепел используются как поглотители при изготовлении динамита. Они представляют также хороший шлифовальный и полировочный материал.

Каменная соль — мономинеральная порода, сложенная из минерала того же названия. Она образует часто залежи зернисто-кристаллического или сливного строения в несколько сот метров мощностью, иногда же она встречается в виде примесей среди других осадочных пород.

Гипс состоит из минерала гипса (стр. 35—36) и, так же как каменная соль, образует зернисто-кристаллические массы. В виде отдельных зерен и друз, гипс встречается среди других пород, образуя загипсованные глины, пески, песчаники и т. п.

Ангидрит сложен из минерала ангидрита (стр. 36) и представляет собой серую или голубовато-серую плотную породу. Обычно он редко встречается на поверхности или вблизи от нее, а как правило залегает на глубинах более 70—100 м. Это объясняется его способностью легко переходить в гипс при соприкосновении с поверхностными и подземными водами.

Оолитовые железные руды являются скоплением минерала лимонита (бурого железняка) и обладают всеми его свойствами. Образуются они путем выпадения из морской или пресной воды при участии особых железо-бактерий. Скопления оолитовых железных руд часто наблюдаются на дне болот, почему их иногда называют болотной рудой.

Фосфориты — осадочные породы, богатые фосфатами кальция. Они встречаются в виде конкреций различной формы с гладкой или шероховатой поверхностью. При ударе друг о друга они издают своеобразный запах. В некоторых случаях конкрекции цементируются в один сплошной пласт конгломерата, мощность которого обычно измеряется долями метра. Фосфориты с содержанием P_2O_5 около 15—30% являются полезными ископаемыми, используемыми после дробления в муку для удобрения полей.

Каустобиолиты — органические по составу и органические по происхождению породы. Сюда относятся такие важные для народно-хозяйственной жизни горючие полезные ископаемые как нефть, каменные и бурые угли, горючие сланцы и торф. Тем не менее, ни как материал для сооружения, ни как среда для него, они, за исключением торфа, интереса не представляют и здесь не рассматриваются.

Торф представляет собой бурую или черную массу волокнистого строения, состоящую из полуразложившихся болотных растений. Он образуется в болотах, в условиях умеренного или холодного климата, и имеет очень широкое распространение. В северных областях Европейской части Советского Союза торфяные болота занимают около 17% от всей площади. В зависимости от слагающих торф растительных остатков, различают моховой, луговой, вересковый и древесный торф.

Торф применяется, главным образом, в качестве горючего, теплотворная способность которого равна 3500—5000 калорий. Торф используется также как дезинфекционное средство и для подстилки.

Вследствие большой пористости и влагоемкости, торф как основание под сооружения непригоден. Каждый раз, когда в основании даже легких построек имеется торф, его необходимо удалить или принять специальные меры по укреплению основания. Особенно трудные условия для строителей представляют глубокие болота, где торф образует только покров, под которым находится вода. Для правильного выбора технических мер каждый раз необходимо тщательное предварительное исследование болотного массива.

Метаморфические горные породы

Изверженные и осадочные горные породы после их образования не остаются без изменения. Вследствие разнообразных перемещений в литосфере, они могут быть или выведены на по-

верхность земли, где постепенно разрушаются, или, наоборот, могут погружаться на большие глубины, где в течение длительного времени подвергаются действию высокой температуры и большого давления. Под воздействием физико-химических факторов они в той или иной степени меняют там свой внешний вид и минеральный состав. Процесс изменения может быть настолько сильным, что, даже при микроскопическом исследовании, не всегда удается установить, в результате изменения какой породы образовалась данная. Процесс изменения пород под большим давлением и при высокой температуре называется метаморфизмом, а породы, возникшие в результате его, — метаморфическими. При погружении на большие глубины метаморфизму подвергаются большие толщи пород на значительных

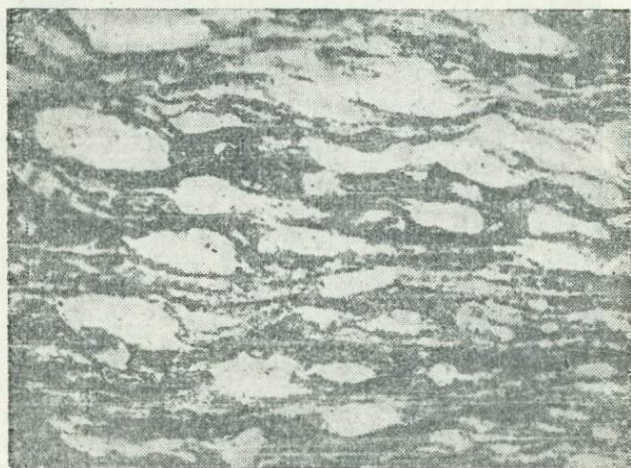


Рис. 41. Метаморфизованный гранито-гнейс.

протяжениях; такой метаморфизм называется региональным. Метаморфизм твердых пород происходит также в месте соприкосновения с внедряющейся в них магмой. В этом случае изменение происходит только в зоне соприкосновения — контакта, и метаморфизм называется контактовым. Изменение облика пород под влиянием огромных давлений, возникающих вследствие сильных напряжений в литосфере, называется динамометаморфизмом.

Общие свойства метаморфических горных пород. Формы залегания не служат характерным признаком для метаморфических пород, так как они не связаны с процессом метаморфизма, а отражают условия образования той первичной породы, которая подверглась изменению.

Структура метаморфических пород — кристаллически-зернистая, но ее происхождение иное, чем структуры интрузивных пород. Она образовалась не при затвердевании расплавлен-

ного материала, а произошла в результате перекристаллизации пород в твердом состоянии.

Текстура метаморфических пород заметно отличается от текстуры изверженных и осадочных пород и служит наиболее

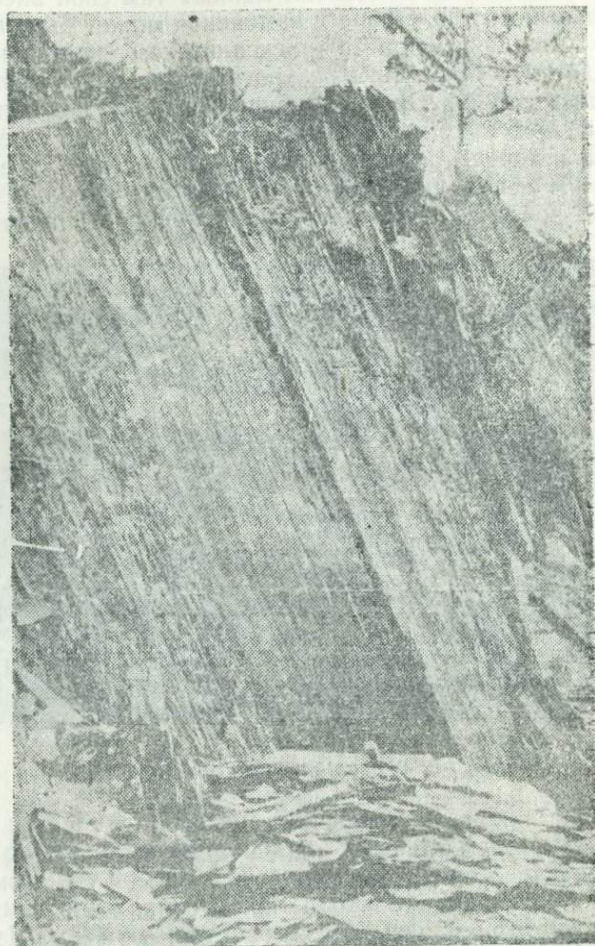


Рис. 42. Глинистый сланец.

надежным макроскопическим признаком для их определения. Самой характерной для большинства метаморфических пород является сланцеватая текстура. Она образовалась вследствие того, что под давлением все кристаллы в породе расположились длинной стороной перпендикулярно направлению давления (рис. 41). По сланцеватости порода раскалывается на отдельные, иногда очень тонкие пластинки (рис. 42). Кроме

сланцеватой, наблюдаются еще следующие главнейшие текстуры: полосчатая или ленточная — полосы разного минералогического состава и окраски чередуются между собой; *п л о й ч а т а я* — плоскости сланцеватости и полосы смяты в мелкие складки (рис. 43); волокнистая — порода сложена волокнистыми, переплетающимися между собой минералами; *м а с с и в н а я* — аналогичная текстуре такого же названия изверженных пород, т. е. такая, когда отдельные кристаллы — зерна не обнаруживают никакой закономерности в своем расположении.

Описание главнейших метаморфических пород. Гнейсы, образующиеся в результате метаморфизма изверженных пород, называются *ортогнейсами*, а образующиеся в результате метаморфизма осадочных пород — *парогнейсами*. Наиболее часто встречаются гнейсы, образовавшиеся в результате метаморфизма гранитов или пород, близких по составу к гранитам. Они представляют собой плотные кристаллические породы белого, серого и красного цветов. В гнейсах различимы полевые шпаты, кварц и слюда, причем светлые полосы полевых шпатов чередуются в них с темными полосами слюды.

Массивная текстура у гнейсов бывает редко; обычно она сланцеватая или полосчатая (рис. 41).

Сланцеватая текстура делает гнейсы менее ценным строительным материалом, чем граниты, хотя минералогический состав у них одинаковый. Гнейсы легко разрабатываются по сланцеватости на плиты, что позволяет использовать их для покрытия набережных, каналов и тротуаров. Чем резче выражена сланцеватость в гнейсе, тем уже круг его применения в качестве строительного камня. Тонкосланцеватые гнейсы очень мало морозостойки и подвержены быстрому выветриванию, которое происходит еще быстрее, если в породе встречаются кристаллы серного колчедана (пирита). Увеличение содержания кварца повышает прочность гнейса, увеличение же числа полевых шпатов и слюды снижает ее. Временное сопротивление гнейсов на сжатие находится в пределах 1200—2000 кг/см².

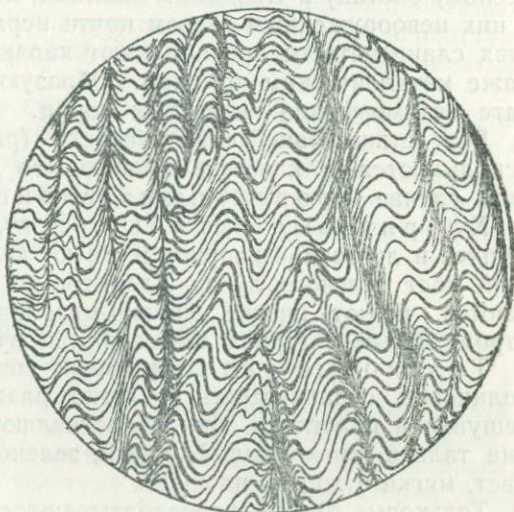


Рис. 43. Плойчатая текстура.

Слюдяные сланцы состоят из слюды и кварца в различных соотношениях, причем кварц на-глаз отличается с трудом. Благодаря параллельному расположению чешуек слюды, сланцеватость в сланцах выражена очень резко и они без труда разделяются на тонкие пластинки.

Для технических целей слюдяные сланцы еще менее пригодны, чем гнейсы. Как строительный камень, используются только толстосланцеватые разновидности с большим содержанием кварца. Некоторые месторождения тонкосланцеватых слюдяных сланцев разрабатываются на плиты и пластины для перекрытий и крыш.

Филлиты — древние глинисто-слюдяные сланцы представляют собой тонкосланцеватые породы, близкие по минералогическому составу к слюдяным сланцам, но зерна кварца и слюды в них невооруженным глазом почти неразличимы. На поверхностях сланцеватости они обладают характерным шелковистым и даже металлическим блеском. Образуются филлиты в результате метаморфизма глинистых пород.

Вследствие тонкой сланцеватости (рис. 42), филлиты часто используются в качестве кровельного материала, называясь в этом случае кровельными сланцами.

Хлоритовые сланцы состоят, главным образом, из чешуек и листочков хлорита и имеют зеленый цвет, напоминающий цвет зеленого лука. Хлоритовые сланцы легко выветриваются, имеют низкие физико-механические качества и как строительный материал применяются очень редко.

Тальковые сланцы имеют совершенную плоскую или волнистую сланцеватость и легко разделяются на отдельные чешуйки и пластинки. Они представляют уплотненное накопление талька, имеют белый, серый, зеленоватый или красноватый цвет, мягки и жирны наощупь.

Тальковые сланцы перерабатываются на тальк, а также применяются для футеровки доменных печей.

Роговообманковые сланцы состоят, главным образом, из лучистой разновидности роговой обманки и имеют зеленый цвет различных оттенков от светлозеленого до чернозеленого. Они бывают тонко- и толстосланцеватые, тверды, очень вязки, благодаря чему дают хороший щебень.

Змеевики или серпентины состоят из минерала змеевика, примеси магнитного железняка и оливина. Они имеют желтовато-зеленый или темнозеленый цвет с полосами и пятнами, напоминающими кожу змеи. Плотная текстура, занозистый излом и небольшая твердость (3—4) позволяют легко отличить их от других бесполовошпатовых пород. Временное сопротивление на сжатие сравнительно невелико и находится в пределах 700—1800 кг/см².

Красивые разновидности змеевиков употребляются как декоративный камень, кроме того они иногда идут на щебень.

Мраморы получаются в результате метаморфизма известняков и доломитов. Они представляют кристаллически-зернистые породы массивной текстуры, сложенные кальцитом или доломитом. Цвет мраморов разнообразен и для некоторых сортов дает очень красивые сочетания тонов и рисунков.

Тонкозернистые разновидности мрамора хорошо шлифуются и используются как поделочный камень и скульптурный материал. Хорошие сорта мрамора идут для наружной и внутренней облицовки, на перила, подоконники и памятники. Невысокие сорта крупнозернистого мрамора используются наравне с известняком. Присутствие пирита сильно снижает технические качества мрамора. Временное сопротивление на сжатие мраморов равно в среднем 360—1200 кг/см².

Кварциты состоят из зерен кварца, сцементированных кварцевым же цементом. Они представляют плотную зернистую или сливную породу, окрашенную в белый, серый, красноватый или синеватый цвета.

Несмотря на большую стойкость на выветривание, кварциты вследствие высокой твердости и хрупкости в качестве строительного камня не используются. Чистые сорта кварцитов применяются в качестве флюса при выплавке богатых медью серных колчеданов (пиритов), а менее чистые — идут на поды марте-новских печей и изготовление динаса.

Макроскопическое определение метаморфических горных пород

При небольшом навыке большинство метаморфических пород без труда отличается от изверженных и от осадочных пород. Кристаллическое строение делает их близкими к изверженным породам, но сланцеватая текстура настолько характерна, что при первом взгляде бросается в глаза, указывая на принадлежность породы к метаморфическим. Мраморы и кварциты, хотя и не имеют сланцеватости, отличаясь массивной текстурой, тем не менее не могут быть приняты за изверженные породы, так как похожих мономинеральных пород среди изверженных нет. Кроме того, высокая твердость и хрупкость кварцитов и вскипание мраморов под действием соляной кислоты совершенно исключают возможность ошибки.

В свою очередь плотное кристаллически-зернистое строение метаморфических пород позволяет легко отличить их не только от рыхлых, но и от сцементированных осадочных пород. Важно только при определении не спутать сланцеватость метаморфических пород со слоистостью осадочных, что при недостаточном внимании может случиться. Для избежания ошибки достаточно помнить, что поверхности сланцеватости гладки и часто блестящи, а поверхности слоистости почти всегда матовы и обнаруживают некоторую шероховатость. Исключение в этом отношении может наблюдаться у жирных глин, но они настолько

Таблица-определитель метаморфических горных пород

Текстура	Название горной породы	Минералогический состав	Строение и внешний вид
Сланцеватая	Гнейсы	Полевые шпаты, кварц, слюда, роговая обманка	Плотные светлые. Полосы светлого полевого шпата чередуются с темными полосами слюды или реже роговой обманки. Минералы различимы.
	Слюдяные сланцы	Слюда, кварц	Тонкосланцеватые, кварц часто неразличим
	Филлиты (древние глинисто-сланцеватые сланцы)	Слюда, кварц и другие минералы	Тонкосланцеватые, минералы на глаз почти не различимы
	Хлоритовые сланцы	Хлорит	Чешуйчатая или листоватая масса зеленого цвета
	Тальковые сланцы	Тальк	Чешуйчатая масса талька. Чертится ногтем
	Роговообманковые сланцы	Роговая обманка, кварц	Сланцеватость часто выражена неясно
Массивная	Змеевики	Змеевик, магнетит	Плотная зеленая масса с пятнами различных цветов — белого, зеленого, желтого, красного. Гладкие зеркально-эмалевые поверхности
	Мраморы	Кальцит, реже доломит	Плотные кристаллические. Белые, желтые, оранжевые, красные и других светлых цветов. Вскипают с соляной кислотой
	Кварциты	Кварц	Плотные, мелкозернистые, сплошные. В изломе блестящи

мало похожи на метаморфические породы, что возможность ошибки исключается сама собой.

После того как установлено, что порода относится к метаморфическим, следует воспользоваться табл. 4, с помощью которой можно установить название определяемой породы. Задача определения в данном случае сильно облегчается тем, что в составе каждого типа сланцев преобладает почти всегда один минерал, определить который не представляет труда. Цвет, структурные и текстурные особенности позволяют уточнить сделанное определение.

Часть II

ТЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЭНДОГЕННЫХ СИЛ

Глава IV

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

С того момента, как образовалась твердая литосфера, она отделила огненную Землю от холодного мирового пространства. Таким образом, литосфера, состоящая из минералов и сложенная из горных пород, оказалась на грани двух сред, противоположных по своим свойствам и силам, которые проявляются в них. Постоянное воздействие на литосферу внутренних — эндогенных сил с одной стороны и внешних — экзогенных с другой, все время меняет ее строение и внешний вид. Различные по существу эндогенные и экзогенные силы находятся в постоянной борьбе и действуют на твердую земную кору в противоположных направлениях. В то время как обусловленные внутренним жаром Земли эндогенные силы стремятся создать неровности на земной поверхности, экзогенные силы приводят все к одному уровню.

Вначале, когда литосфера была тонкой, преобладали эндогенные силы. Они постоянно разрушали целостность твердой оболочки, разрывая ее на отдельные глыбы, причем огромные массы магмы покрывали значительные пространства. С увеличением толщины литосферы, бурно проявлять себя эндогенные силы могли уже только на отдельных, более слабых участках. В то же время экзогенные силы более спокойно производили свою разрушительную работу, нивелируя созданные их противником величественные горные хребты и глубокие океанические впадины.

Постоянная борьба эндогенных и экзогенных сил Земли продолжается и в настоящее время. В каждом месте литосферы видны следы этой борьбы; везде наблюдаются изменения, как имевшие место в прошлом, так и происходящие теперь.

Жизнь любого инженерного сооружения и его устойчивость находятся в тесной зависимости от деятельности тех процессов, которые действовали на земной поверхности раньше и продолжают в наши дни менять ее вид. Становится ясным, что для правильного решения инженерных вопросов мало знать строе-

ние Земли, т. е. знать, из каких минералов она состоит и какими горными породами она сложена; мало знать физико-механические свойства минералов и горных пород, а надо еще знать, какой жизнью живут эти горные породы и каким изменениям они подвержены.

Литосфера не имеет везде одинаковую толщину. Местами она представляет мощные глыбы — континенты, местами же наблюдаются жолобообразные прогибы — геосинклинали. Эти геосинклинали совпадают с наиболее слабыми участками литосферы, расположенными внутри континентов, на их периферии или между отдельными континентами. Они заполнены водой и соответственно представляют или внутриконтинентальные моря (Средиземное море) или глубокие участки океанов, вытянутые вдоль берегов материков (западный берег Северной и Южной Америки). Обычно геосинклинали вытянуты в меридианальном или в широтном направлениях (рис. 44).

В течение длительного времени в геосинклинали с соседних континентов сносятся продукты разрушения горных пород. Под тяжестью этого материала дно геосинклиналей медленно прогибается, вследствие чего геосинклинали не становятся заметно мельче, хотя на дне их накапливаются отложения, мощность которых измеряется километрами. Когда дно геосинклиналей вместе с осадочными породами, образовавшимися на нем, достигает глубины, где господствуют высокие температуры, в толще осадков начинается ряд физических изменений. В результате этих изменений, а также общего уменьшения объема Земли, связанного с ее непрерывным остыванием, в геосинклинальных, как наиболее слабых и пластичных зонах литосферы, с особенной силой проявляются тангенциальные напряжения. Они сминают накопившиеся в геосинклиналях осадочные породы в более или менее резко выраженные складки и по трещинам надвигают их друг на друга. В конце концов эти так называемые орогенические процессы, связанные с горизонтальным давлением, приводят к тому, что на месте геосинклиналей возникают цепи складчатых гор.

На земной поверхности имеется две огромных складчатых полосы, евразийская и тихоокеанская. Первая прослеживается в широтном направлении от Гибралтара через Альпы, Карпаты, Малую Азию, Кавказ, Иран, Среднюю Азию, Гималаи и Сям до Зондского архипелага, вторая — от Зондского архипелага идет в меридианальном направлении через Филиппины, Японию, Камчатку, Алеутские острова и Аляску в западное побережье Америки и Антарктику (рис. 44). Обе полосы являются наиболее молодыми и неустойчивыми частями литосферы, находящимися и сейчас в состоянии формирования, что подтверждается тем, что к ним приурочены главнейшие вулканы (рис. 45) и в области их разыгрывается трагедия ужасных землетрясений (рис. 67). Кроме того, вдоль тихоокеанского пояса проходит полоса узких океанических впадин, подтверждая тесную генетическую взаимо-

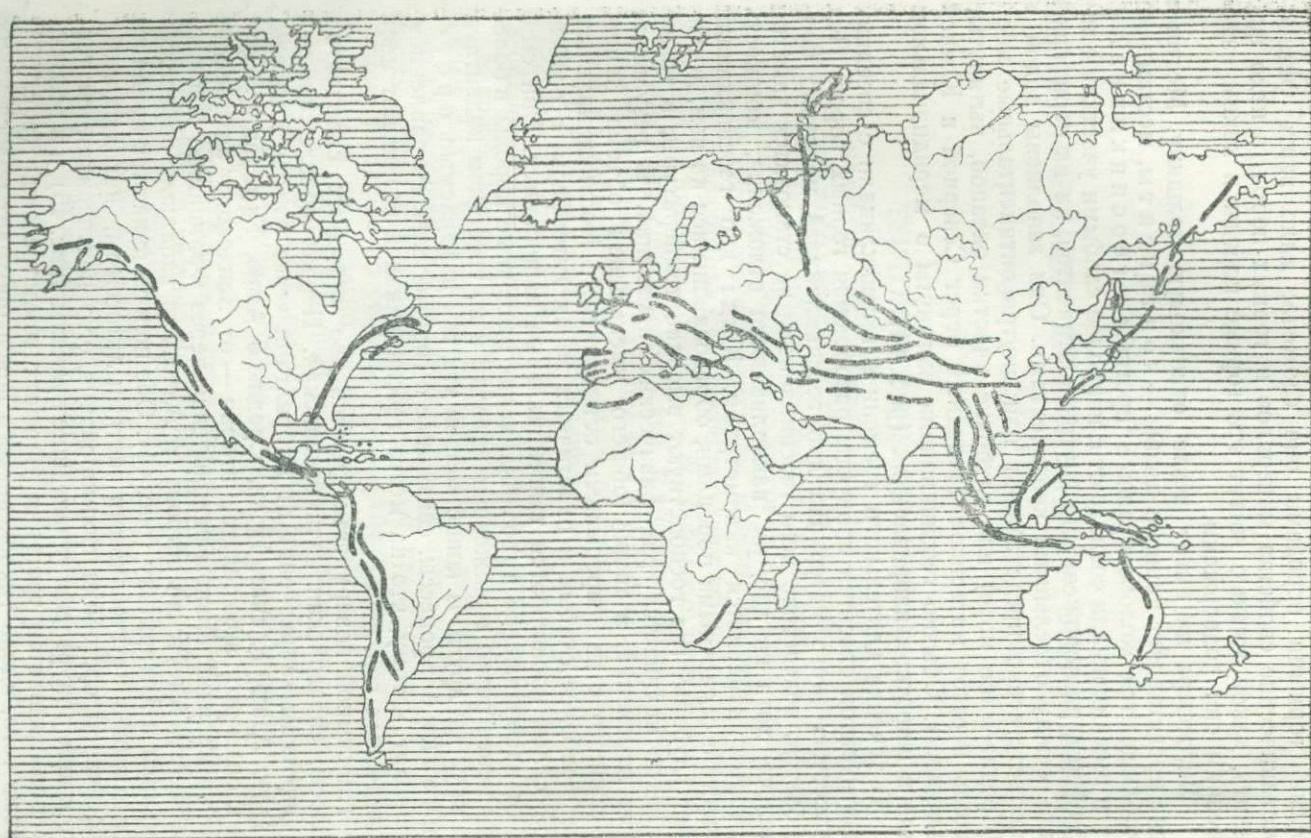


Рис. 44. Главнейшие геосинклинальные зоны.

связь их с горными хребтами, вытянутыми вдоль берегов Азии и Америки. Как на более древнюю геосинклиналь, в пределах которой уже давно не проявлялись орогенетические процессы, можно указать на вытянутую в меридианальном направлении Уральскую горную цепь.

После более интенсивного проявления орогенетических процессов, которое наблюдается примерно одновременно на всей земной поверхности, наступают периоды ослабления их деятельности, в течение которых снова происходит накопление осадков в геосинклинальных понижениях. В жизни Земли отмечается несколько таких периодов оживления орогенетических явлений, сменяющихся относительным покоем (своего рода пульсация). Новейшими теориями это явление объясняется тем, что сжатие Земли при остывании не происходит равномерно, а периоды сжатия (интенсивные орогенетические процессы) чередуются

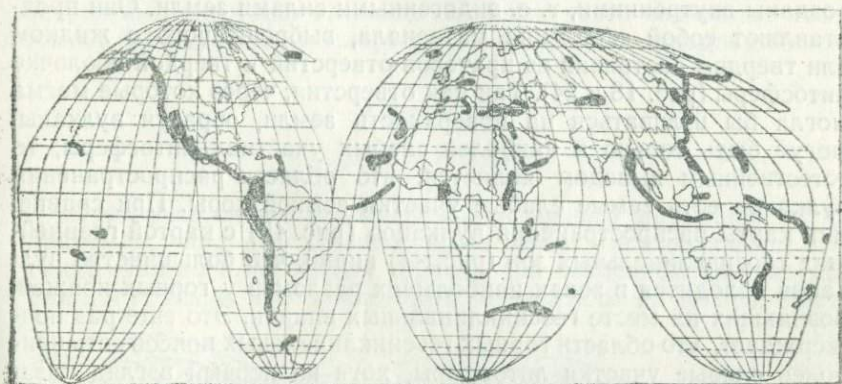


Рис. 45. Карта распространения вулканов.

с периодами расширения, когда наблюдается относительный покой и образуются трещины, по которым происходят смещения отдельных массивов в радиальном направлении. Последние сильные орогенетические процессы происходили более миллиона лет тому назад, а в настоящее время Земля переживает период относительного покоя.

Более толстые и менее пластичные участки литосферы, образующие материковые и океанические массивы, не подвергаются сильным нарушениям орогенетическими процессами. Тем не менее они не остаются в покое, а все время перемещаются в вертикально-радиальном направлении. Одни из них опускаются и перекрываются морями, другие, наоборот, поднимаются из-под воды, образуя так называемые столовые горы и плоскогорья. Таким образом, в результате вертикальных движений граница морей и океанов не остается неподвижной. Она все время перемещается, вследствие чего огромные пространства равнин Советского Союза вышли из-под уровня моря. Только характер слагающих

их осадочных пород и остатки морских животных в этих породах говорят о том, что здесь в прежние геологические времена неоднократно было море различной глубины.

Процессы вековых поднятий и опусканий захватывают огромные территории и называются эпейрогеническими. Эти процессы происходят, как правило, медленно, причём сохраняются внутреннее строение отдельных глыб. Классическим примером страны, где поднятия происходят и в настоящее время, служит Скандинавский полуостров. По точным данным поднятие здесь достигает до 0,6 м в сто лет. В то же время непрерывно опускаются берега Голландии, северной Германии и северной Франции.

Кроме складчатых гор, образованных орогеническими процессами, и столовых гор, возникших в результате эпейрогенических поднятий, существуют еще вулканические горы, которые также созданы внутренними, т. е. эндогенными силами земли. Они представляют собой скопления материала, выброшенного в жидком или твердом состоянии из кратеров-отверстий в твердой оболочке литосферы (рис. 18 и 24). Так как отверстия, через которые магма могла бы изливаться на поверхность земли, образуя вулканы, могут быть только в наиболее слабых участках литосферы, то естественным выводом является, что области распространения вулканов есть самые слабые участки земной коры. При сравнении карты распространения вулканов (рис. 45) с картой главнейших геосинклинальных зон (рис. 44) видно, что большинство вулканов находится в зонах наибольших разломов у горных краёв, возникших на месте геосинклинальных впадин. Это еще раз подтверждает, что области горных геосинклинальных поясов есть наиболее слабые участки литосферы, хотя на первый взгляд казалось бы, что именно здесь можно встретить самую толстую и наиболее надежную часть земной коры.

Вулканические горы не играют существенной роли в создании рельефа земной поверхности. В виде отдельных конических гор и групп конусов, они встречаются на склонах складчатых гор, на плато и дне морей. Все вулканы подразделяются на потухшие и действующие, которых насчитывается около 450. Провести границу между потухшими и действующими вулканами очень трудно, так как вулкан, из которого столетия не было извержений, может оказаться действующим. Например, из горы Монте-Нуово у Неаполя до 1538 г. не было извержений, а в 1538 г. в ней образовалось новое отверстие и из него произошло мощное извержение, в результате которого в течение трех дней образовался конус в 150 м высотой. Спустя неделю извержение совершенно прекратилось и с тех пор больше не наблюдалось. Одним из наиболее активных действующих вулканов является Везувий, расположенный в 7 км к юго-востоку от Неаполя. В историческое время из него неоднократно наблюдались извержения. Особенно сильное извержение было в 1631 г., сопровождавшееся потоками стекающей в море лавы и выделением огромного количества пепла и

газов, и стоившее жизни множеству людей. Пепел был унесен дальше Константинополя, т. е. более чем на 1300 км. Очертания и высота Везувия не остаются постоянными. До извержения 1906 г. высота вулкана была 1350 м над уровнем моря, после же извержения она уменьшилась до 1218 м.

В историческое время наблюдалось около 80 подводных извержений. Большинство из них были небольших размеров. Видимо, запасы лавы и горячего материала недостаточны, чтобы дать мощное извержение в случае соприкосновения с водой. Однако часто количество извергаемого материала достаточно, чтоб образовались вулканические острова. Например, в 1831 г. между Сицилией и мысом Бон (Африка) в месте, где море имеет глубину от 150 до 180 м, заклокотала вода и поднялись клубы черного дыма. Затем появилась земля, и в течение двух месяцев образовался конус в 61 м высотой и 800 м в диаметре. Вскоре остров был разрушен волнами. Особенно часто подводные извержения наблюдаются у Алеутских островов юго-западнее Аляски.

Глава V

ДИСЛОКАЦИИ

Образуюсь путем накопления обломочного материала на дне водоемов, пласты осадочных пород имеют горизонтальное залегание. Только в некоторых случаях при наклонном дне бассейна они могут также иметь некоторый незначительный наклон, обычно

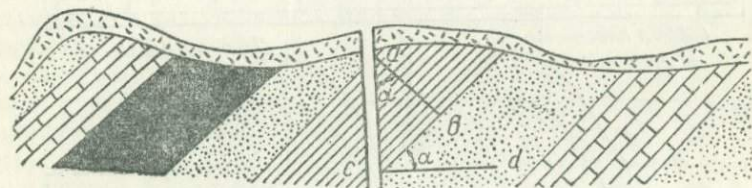


Рис. 46. Моноклиальное залегание свиты пластов.

не превышающий $1-2^\circ$. Такое залегание пластов называется нормальным, т. е. таким, каким оно было в момент образования породы. В районах, где происходили орогенические тектонические движения, залегание пластов обычно бывает нарушено. Всякое нарушение нормального залегания пластов тектоническими процессами называется дислокацией. Формы дислокаций бывают очень разнообразны, но могут быть подразделены на два основных вида: дислокации без разрыва сплошности пластов и с нарушением сплошности.

Дислокации без разрыва сплошности пород. Когда пласты горных пород выведены из горизонтального положения и наклонены в одном направлении, то такое нарушенное залегание называется моноклиальным (рис. 46). Эта самая простая

форма дислокаций часто наблюдается на больших территориях, которые сложены однообразно наклоненными свитами пластов огромной мощности.



Рис. 47. Элементы залегания пласта.

Положение в пространстве наклонно залегающего пласта определяется его элементами залегания: простираанием и падением. Простираанием называется направление линии пересечения пласта с горизонтальной плоскостью (рис. 47), а падением — двугранный угол, образуемый пластом с

той же плоскостью (рис. 47). Понятно, что простираание пласта и направление его падения всегда взаимно перпендикулярны. Угол падения пластов может изменяться в пределах от 0° до 90° .

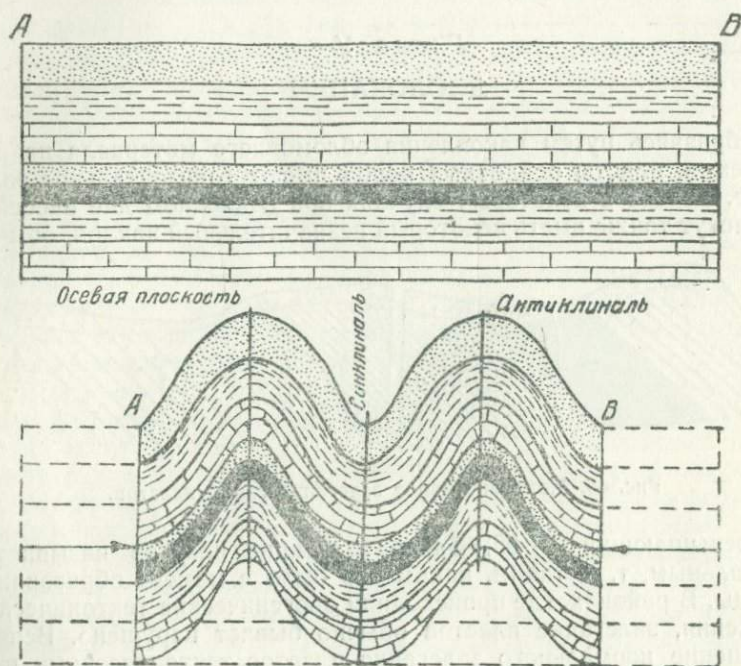


Рис. 48. Прямые симметричные складки.

Пласты, падение которых близко к 0° , называются пологими, а пласты, у которых падение больше 45° — крутопадающими. При падении близком к 90° пласты называются вертикальными или на голову поставленными.

В случае пересечения горизонтального пласта буровой сква-

жиной или другой вертикальной выработкой, непосредственным измерением определяется истинная мощность пласта ab (рис. 34).

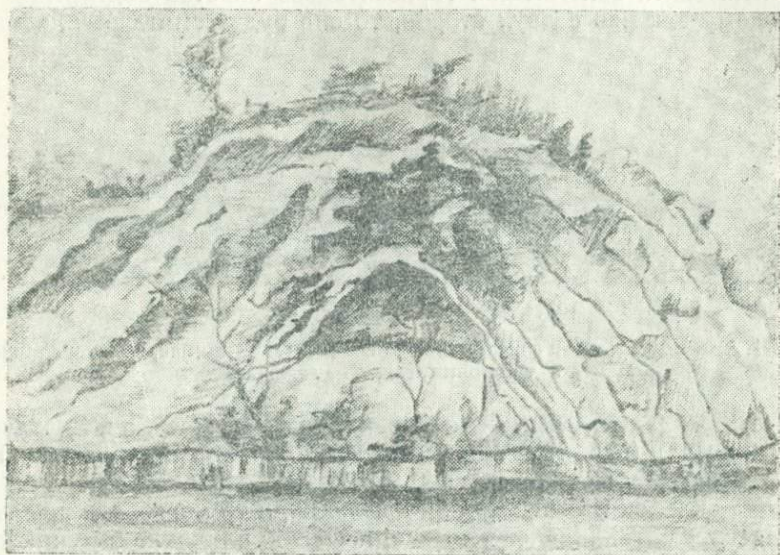


Рис. 49. Прямая антиклинальная складка.

При вскрытии наклонного пласта вертикальная выработка дает видимую, или кажущуюся, мощность ac , которая больше истинной мощности ab (рис. 46). Так как $\angle cab = \angle bcd$ (углы с взаимно перпендикулярными сторонами), т. е. равен падению пласта a , то из прямоугольного треугольника abc получаем

$$ab = ac \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

т. е. имеем, что истинная мощность пласта равна видимой, умноженной на косинус падения пласта. При горизонтальном залегании $\angle \alpha = 0^\circ$ и $\cos \alpha = 1$, а следовательно $ab = ac$, т. е. в этом случае видимая мощность пласта равна истинной. С увеличением падения пласта разница между видимой и истинной мощностями

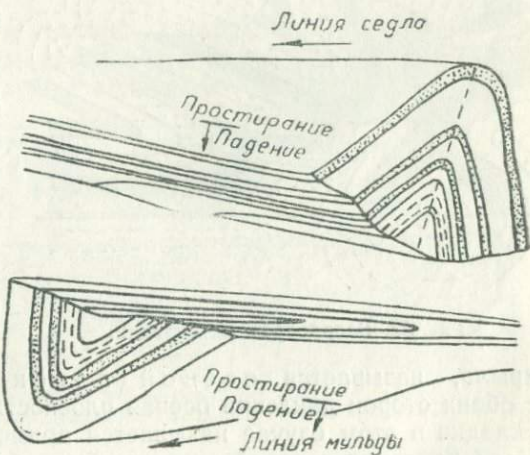


Рис. 50. Антиклинальная и синклиальная складки.

увеличивается. При $\alpha = 90^\circ \cos \alpha = 0$ и из (3) следует, что видимая мощность ac равна бесконечности; т. е. вертикальная буровая скважина никогда не пройдет на голову поставленный пласт.

Если свита залегающих горизонтально пластов подвергнется боковому сжатию с двух сторон, то она будет смята в складки.

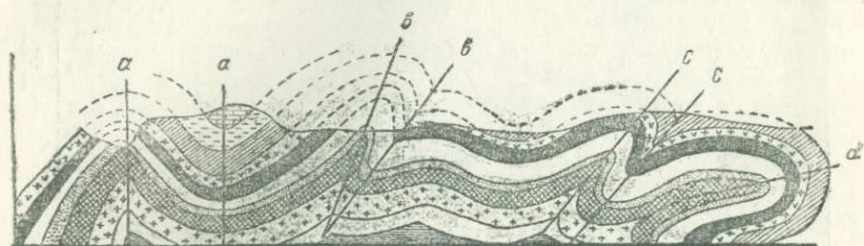


Рис. 51. Антиклинальные и синклиналильные складки: *a* — прямая, *b* — наклонная, *c* — опрокинутая, *d* — лежачая.

причем складки, выгнутые вверх, называются антиклинальными (рис. 48 и 49), а выгнутые вниз — синклиналильными или мульдами.

Бока складок называются их крыльями, а то место, где крылья сходятся, у антиклиналей называется сводом или седлом, у синклиналей же — перегибом мульды. Линия, соединяющая высшие точки седла, получила название линии седла, а линия, проходящая по самым низким точкам мульды, — линии мульды (рис. 50). Из рис. 50 можно видеть, что по разные стороны от линии седла или линии мульды пласты падают в противоположных направлениях.

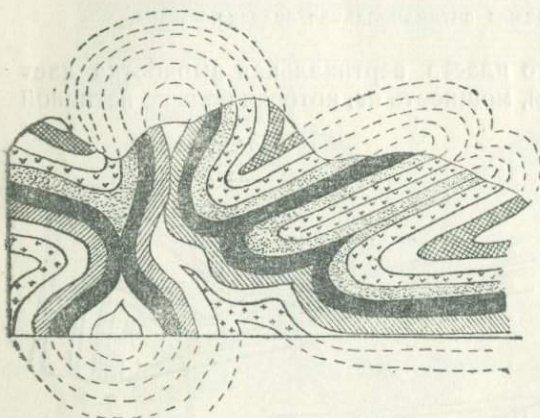


Рис. 52. Веерообразные складки.

Плоскость, разделяющая антиклиналь или синклиналь на два крыла, называется осевой плоскостью. При равном с обеих сторон давлении осевая плоскость будет вертикальной и складка в этом случае называется прямой (рис. 48, 49 и 51, *a*). Если давление с одной стороны было больше чем с другой, то осевая плоскость наклонена в сторону меньшего давления и складка называется наклонной (рис. 51, *b*). Когда одно крыло надвинуто на другое, складка называется опрокинутой (рис. 51, *c*), а при горизонтальном положении осевой плоскости — лежачей

(рис. 51, d). Из рис. 51 видно, что в прямой и наклонной складках более древние слои пород всегда лежат ниже более молодых

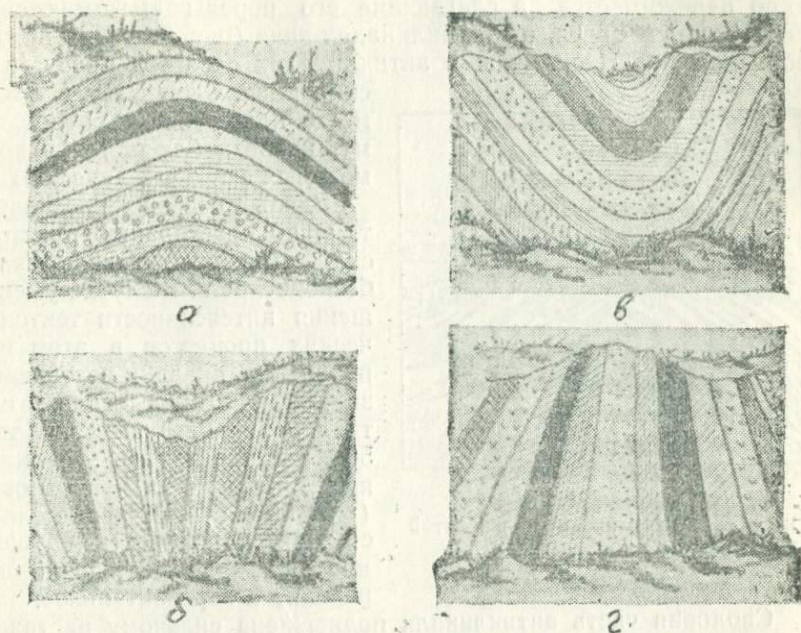


Рис. 53. Залегание пород в нормальных и в веерообразных складках: а — нормальная антиклиналь, б — веерообразная антиклиналь с разрушенным сводом, в — нормальная синклиналь, г — веерообразная синклиналь с мульдой ниже поверхности земли.

дых. В опрокинутых и лежачих складках нарушение нормального залегания настолько сильное, что в опрокинутом крыле более молодые породы лежат под более древними.



Рис. 54. Поперечный разрез и план затухающей мульды.

В сильно дислоцированных районах, где орогенические движения проявились с особенной силой, наблюдаются не только опро-

кинутые и лежачие складки, но также и веерообразные (рис. 52). Эти складки возникают в том случае, когда боковое давление на внутреннюю часть складки — ее ядро, настолько сильное, что ядро пережимается, а слагающие его породы выжимаются в антиклиналях вверх, а в синклиналях вниз (рис. 52). При веерообразном залегании слон в антиклиналях сходится книзу, а в синклиналях кверху, т. е. имеет место положение обратное тому, какое наблюдается в нормальных складках (рис. 53).



Рис. 55. Антиклиналь с размытой верхней частью свода.

Вдоль осевой плоскости, т. е. по простирацию пластов, складки не прослеживаются на бесконечность. В случае уменьшения интенсивности тектонических процессов в этом направлении, складки постепенно затухают. Линия седла у антиклиналей погружается (рис. 50), а линия мульды у синклиналей выходит на поверхность (рис. 50 и 54). Падение слоев становится положе и нарушенное залегание постепенно переходит в горизонтальное.

Сводчатая часть антиклинали подвержена сильному растяжению, что вызывает образование трещин и обуславливает быстрое ее разрушение (рис. 55). Поэтому очень часто антиклинали смы-

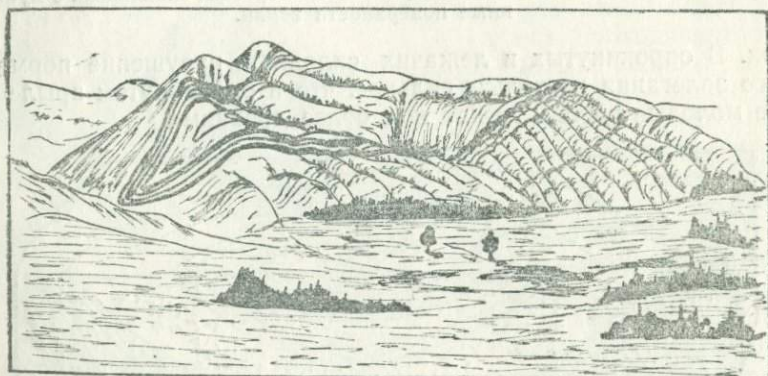


Рис. 56. Гора на месте наклонной синклинали в Наукатской котловине (Фергана).

ваются быстрее синклиналей, что приводит к образованию на месте синклиналей возвышенностей (рис. 56), а на месте антиклиналей — отрицательных элементов рельефа. Уничтоженная часть

свода антиклинали называется воздушным сводом или седлом (рис. 51 и 52).

Складки образуются в результате сжатия отдельных участков литосферы, но в областях с проявлением орогенических явлений наблюдается не только сжатие, но и растяжение. Последнее часто связано с оттягиванием вниз одной части земной коры относительно другой. Это приводит к дислокации, называемой флексурой, которая состоит из двух, примерно параллельных, частей, находящихся на разных уровнях, — верхнее и нижнее крыло и связывающей их третьей изогнутой части — соединительного крыла (рис. 57). Мощность слоев в соединительном крыле вследствие растяжения всегда меньше, чем в верхнем и нижнем крыльях (рис. 57).

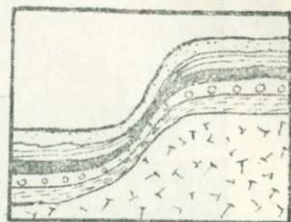


Рис. 57. Флексура.

Дислокации с разрывом сплошности пород. Всякое перемещение горных пород в вертикальном направлении по трещине, сопровождаемое разрывом сплошности, называется сбросом (рис. 58 и 59). Трещина, по которой происходит смещение, называется

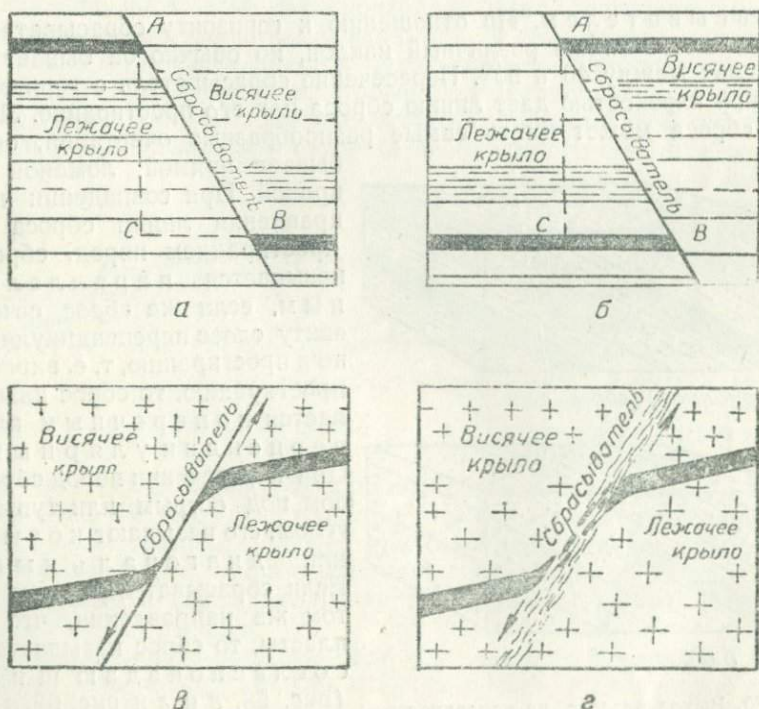


Рис. 58. Сбросы: а — нормальный сброс, б — взброс, в — закрытый сброс, г — открытый сброс.

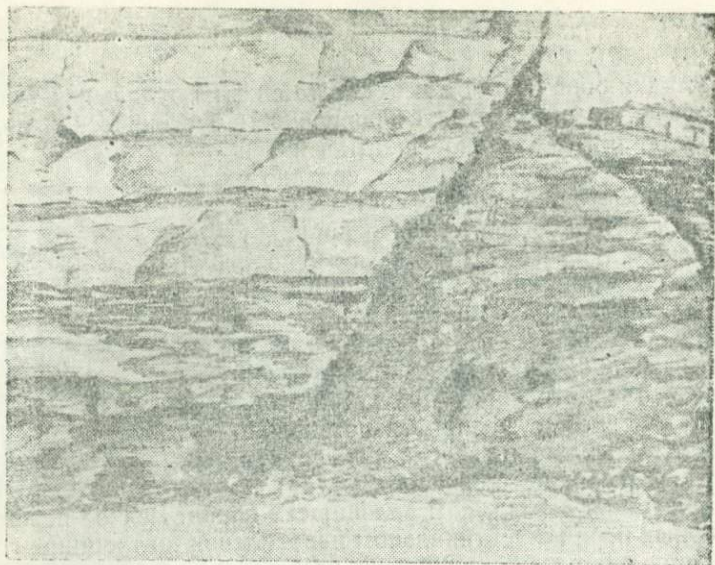
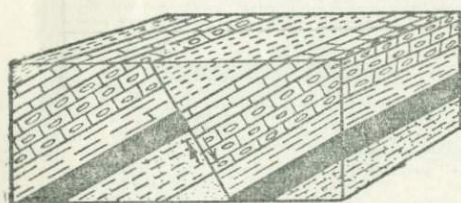


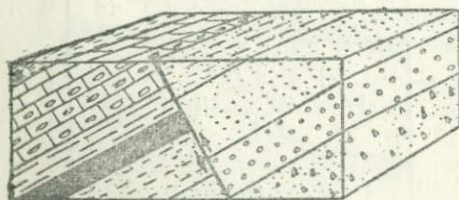
Рис. 59. Сброс в песчанике, вскрытый в карьере.

Сбрасывателем. По отношению к горизонту сбрасыватель может иметь самый различный наклон, но обычно он бывает в пределах между 40 и 90° . Пересечение сбрасывателя с горизонтальной плоскостью дает линию сброса или его простираание. Линия сброса может иметь самые разнообразные очертания; она

бывает прямой, ломаной и кривой. При совпадении направления линии сброса с простираанием пород, сброс называется параллельным, если же сброс сечет свиту слоев перпендикулярно к простираанию, т. е. вкрест простираанию, то сброс называется поперечным или перпендикулярным. При пересечении пород сбросом под острым или тупым углом, его называют косым или диагональным. Если сбрасыватель падает в том же направлении, что и пласты, то сброс называется согласнопadaющим (рис. 58, в и г и рис. 62, а), если же падения сбрасывателя и пластов направлены в



Нормальный сброс



Взброс

Рис. 60. Выход пластов на поверхность в случае нормального сброса и в случае взброса.

противоположные стороны, то сброс называется несогласнопадающим (рис. 60, 61, а и 62, б).

Опущенная часть пластов, прилегающих к вертикальному сбрасывателю, называется опущенным или нижним крылом сброса, а другая часть — поднятым или верхним крылом. При наклонном сбрасывателе различают висячее крыло, расположенное над сбрасывателем, и лежащее крыло, находящееся ниже сбрасывателя (рис. 58). Если висячее крыло опущено относительно лежащего, то сброс называется нормальным (рис. 58, а, в и рис. 60), в противном случае — взбросом (рис. 58, б и 60). Из рисунков видно, что при нормальном сбросе разорванные части пластов расходятся, и при бурении скважины можно пропустить часть их (рис. 58, а). При взбросе висячее и лежащее крылья сброса перекрывают друг друга, и один и тот же пласт может быть встречен дважды (рис. 58, б). Аналогичное явление наблюдается на поверхности земли, если, после того как произойдет сброс, благодаря смыву, местность примет равнинный характер. В этом случае при нормальном сбросе часть пластов будет дважды выходить на поверхность, а при взбросе некоторые пласты совершенно не будут обнаружены (рис. 60). При недостаточно внимательной геологической документации и отсутствии необходимого опыта, в том и

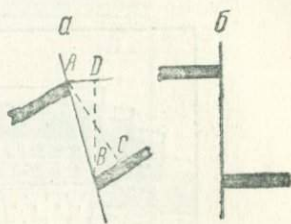


Рис. 61. Размеры сброса.

другом случае могут быть сделаны неверные выводы о геологическом строении местности.

Если крылья сброса плотно прилегают друг к другу (рис. 58, в), то сброс называется закрытым. При наличии некоторого

расстояния между крыльями, сброс называется открытым (рис. 58, а). Пространство между крыльями открытого сброса может остаться пустым или быть заполненным обломочным материалом, образовавшимся в результате разрешения прилегающих к сбрасывателю частей крыльев и называемым брекчией трения.

Размеры сброса определяются его высотой или амплитудой. Различают: 1) наклонную или истинную высоту сброса AB (рис. 58 и 61), т. е. смещение по сбрасывателю, 2) вертикальную высоту BD (рис. 61, а), т. е. размер смещения по вертикали и 3) стратиграфическую высоту AC ,

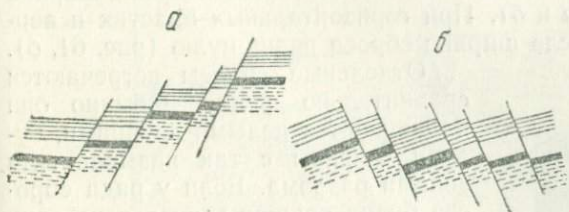


Рис. 62. Ступенчатый сброс.

т. е. высоту по нормали к напластованию слоев (рис. 61, а). При вертикальном сбрасывателе и горизонтальном залегании пород все три высоты сброса совпадают (рис. 61, б), при наклонном сбрасывателе и горизонтальных слоях пород, совпадают вертикальная и стратиграфическая высота (рис. 58, а и б), и только при наклонном сбрасывателе и наклонном залегании пластов все высоты имеют разные значения (рис. 61, а).

Кроме высоты сброса, размеры смещения определяются еще шириной сброса, причем различают горизонтальную ширину

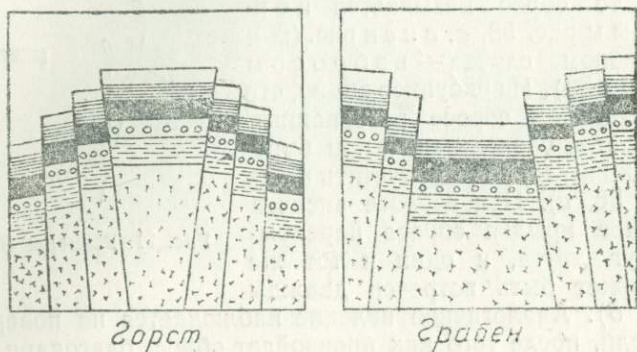


Рис. 63. Формы дислокаций.

сброса AD и ширину сброса в плоскости пласта — BC (рис. 61, а). При горизонтальном залегании пластов и наклонном сбрасывателе, ширина сброса в плоскости пласта и горизонтальная ширина совпадают (рис. 58, а и б). При горизонтальных пластах и вертикальном сбрасывателе ширина сброса равна нулю (рис. 61, б).

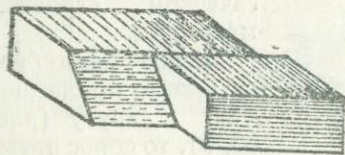


Рис. 64. Сдвиг.

Отдельные сбросы встречаются сравнительно редко. Обычно они наблюдаются целыми группами, будучи связаны с так называемыми зонами разлома. Если у ряда сбросов будут опущены крылья по одну и ту же сторону от сбрасывателей, то получается ступенчатый сброс (рис. 62). В случае, когда, при

наличии серии сбросов, каждая глыба, расположенная ближе к центру зоны разлома, опустилась на большую глубину, чем находящаяся дальше от него, то образуется форма дислокации, называемая грабеном (рис. 63). При опускании периферических глыб по отношению к центральным — возникает горст (рис. 63).

Сдвигом называется форма дислокации, когда перемещение по трещине происходит в горизонтальном направлении (рис. 64). Явления сдвига в чистом виде, так же как и сброса, наблюдаются редко. Обычно всякое горизонтальное перемещение

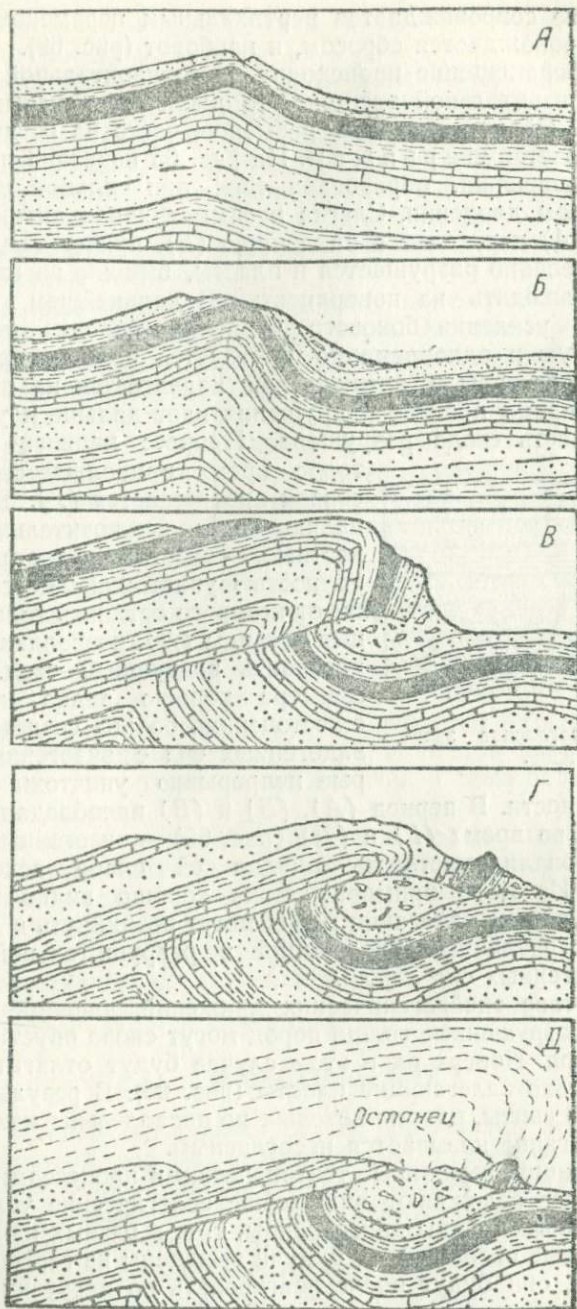


Рис. 65. Развитие шарьяжа.

по трещине сопровождается вертикальным перемещением, т. е. сдвиг сопровождается сбросом, и наоборот (рис. 69).

Если перемещение происходит по горизонтальной или близкой к горизонтальной трещине, то дислокация называется надвигом. Надвиг огромных размеров, часто на сотни километров, называется шарьяжем. На рис. 65 показано постепенное развитие шарьяжа, образовавшегося при сильном одностороннем боковом давлении. Слегка несимметричная антиклинальная складка (А) переходит в наклонную (Б), причем свод антиклинали постепенно разрушается и пласты, бывшие на глубине, начинают выходить на поверхность. В дальнейшем, вследствие заметного усиления бокового давления, складка переходит в опрокинутую и одновременно образуется пологая трещина, по которой одно крыло антиклинали надвигается на другое (В). В то же время процесс разрушения идет дальше и уже значительная часть свода разрушена. Процесс надвига еще неко-

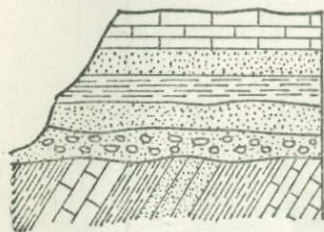


Рис. 66. Несогласное залегание.

торое время продолжается, а затем совсем прекращается (Г). Теперь проявляют себя исключительно поверхностные, — экзогенные силы, почти полностью уничтожающие свод складки, от которого остались только отдельные останцы (Д), позволяющие по ним построить воздушный свод. На этом примере хорошо видна постоянная ожесточенная борьба создающих горы эндогенных сил с экзогенными, которые непрерывно уничтожают созданные неровности. В период (А), (Б) и (В) преобладали эндогенные силы, во время (Г) и (Д) (рис. 65) — экзогенные, которые сnivelлировали местность, придав ей слабо всхолмленный характер. Из этого примера также хорошо видно, насколько сложные условия залегания пород могут возникнуть в результате сочетания различных дислокаций и разрушительной деятельности экзогенных сил Земли.

Вследствие эпейрогенических движений, дислоцированные и частично разрушенные толщи пород могут снова опуститься ниже уровня моря. Поверх их в этом случае будут отлагаться новые горизонтально залегающие пласты (рис. 66). В результате образуются две свиты, пласты которых не параллельны между собой; такое залегание называется несогласным.

Дислокации, вызванные тектоническими процессами, в значительной мере осложняют инженерно-геологические условия. Так как осадочные породы анизотропны, т. е. в разных направлениях имеют разные свойства, то, будучи выведены из горизонтального положения, они будут иначе реагировать на нагрузку от сооружения. Кроме того, в результате воздействия огромных сжимающих и растягивающих напряжений, нормальная текстура горных пород нарушается. Они в сводах антиклиналей разбиваются тре-

щинами разрыва и раздробляются вдоль сбросов, превращаясь часто в брекчию трения.

Высокое давление и трение при тектонических процессах вызывают повышение температуры, которое может достигнуть таких размеров, что произойдет перекристаллизация породы, т. е. превращение осадочной или изверженной породы в метаморфическую в результате динамометаморфизма (см. стр. 85).

При совпадении направления падения пластов с направлением склонов, создаются благоприятные условия для оползания пород по поверхностям наслоения.

Сильные дислокации заметно меняют инженерно-геологические условия даже на небольших расстояниях. Это обязывает для правильного выбора места под сооружение очень тщательно изучать условия залегания пород. В противном случае даже отдельные части крупных сооружений могут быть запроектированы и возведены в резко различных инженерно-геологических условиях. Нельзя, например, допускать постройку сооружений на сбросах, даже в том случае, если оба крыла его сложены одинаковыми по физико-механическим свойствам породами, так как вдоль сброса могут произойти повторные подвижки.

Прекрасная для штучного камня горная порода может стать негодной для этой цели, если разработка в карьере перейдет в зону разлома, где породы будут разбиты частой сетью трещин. В случае же пересечения карьера сбросом, пласт строительных материалов может опуститься на такую глубину, что дальнейшая его разработка открытым способом окажется невыгодной из-за очень большой мощности вскрыши, т. е. пустой породы, которая залегает над разрабатываемым пластом, а сама полезным ископаемым не является.

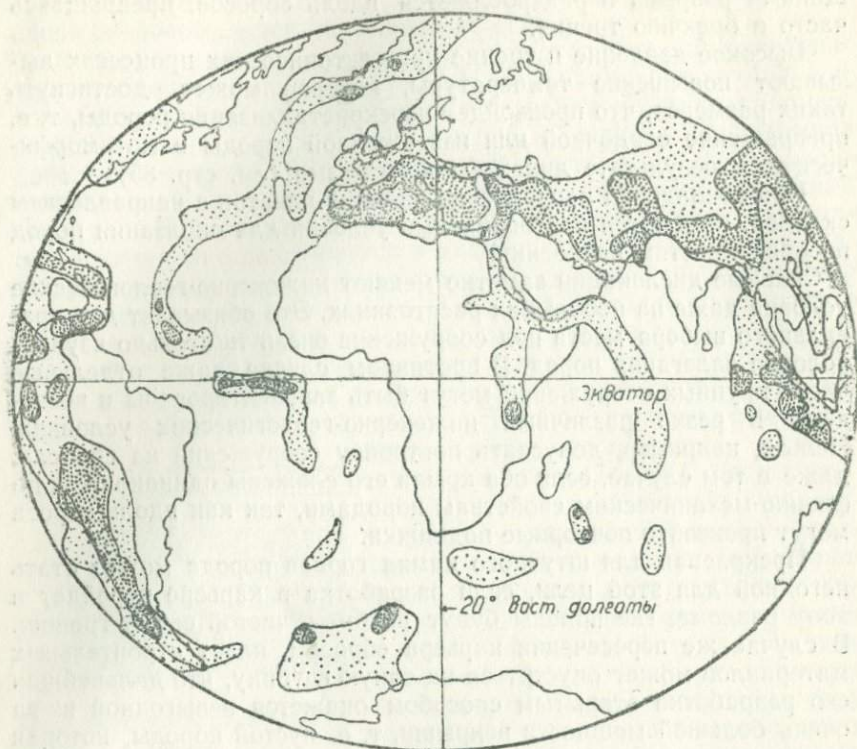
Сбрасыватели открытых сбросов и другие дислокационные трещины служат обычно проводниками подземных вод, которые затрудняют проходку туннелей, выемку котлованов и разработку стройматериалов в карьерах. В то же время по тектоническим трещинам может уходить вода из водохранилищ, каналов и других гидротехнических сооружений.

Глава VI



ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Хотя в настоящее время Земля переживает период относительного покоя, все же орогенические и эпейрогенические подвижки все время происходят. Отдельными, иногда часто повторяющимися толчками они сотрясают земную кору, принося ужасные бедствия обитателям ее поверхности.

Всякое сотрясение литосферы, обусловленное скрытыми в глубине эндогенными причинами, называется землетрясением. Если подвижки литосферы, вызвавшие сотрясение, находятся под дном океана, то оно называется моретрясением. Явления, происходящие перед землетрясением, во время



Легенда:

-  Территории сильных землетрясений
-  Территории слабых землетрясений

него и после землетрясения, называются сейсмическими; так же называются и области, подверженные землетрясениям.

Не везде на земной поверхности с одинаковой частотой и силой происходят землетрясения. В одних местах землетрясения наблюдаются часто и огромной силы, в других местах их совершенно не бывает. На специальных сейсмических картах наносятся подверженные землетрясениям области, с указанием силы сотрясений (рис. 67). Достаточно сравнить такую карту с картой главнейших геосинклинальных зон (рис. 44) и с картой распространения вулканов (рис. 45), чтобы видеть, что сейсмические области, в основном, совпадают с геосинклинальными зонами, к которым приурочены главнейшие горные хребты и в районе которых расположены вулканы. Это наглядно показывает, что горообразование, вулканические извержения и землетрясения есть различные формы проявления одного и того же

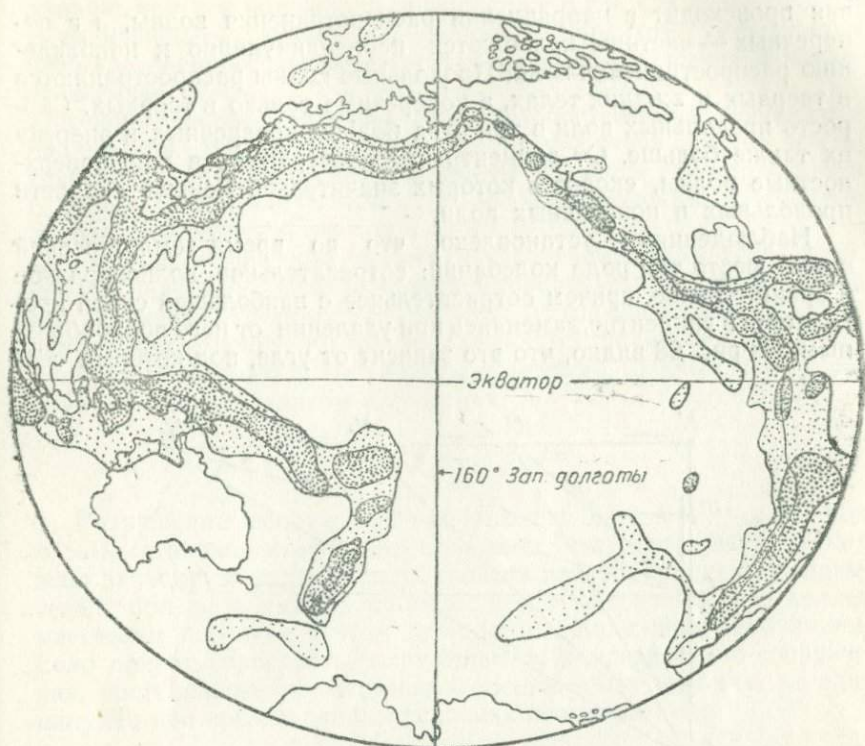


Рис. 67. Сейсмическая карта Земли.

процесса, происходящего в недрах Земли. Все эти явления связаны с наиболее слабыми поясами литосферы, в зоне которых орогенические движения достигают своего максимума.

В СССР выделяют пять сейсмических областей: Кавказ с Крымом, Туркестан, Алтай, Забайкалье и Камчатку. Все они расположены в районе евразийского и тихоокеанского геосинклинальных поясов (рис. 44 и 67). Все сейсмические области СССР представляют собой молодые горные районы, подвергшиеся сильным дислокациям. В то же время, огромные пространства Европейской части СССР и северной Сибири, где нет крупных дислокаций, а все породы залегают горизонтально или почти горизонтально, являются областями сейсмического покоя.

Землетрясения возникают в результате нарушения равновесия, происходящего в земной коре обычно на глубине, не превышающей 20—40 км. Место нарушения такого равновесия называется очагом или гипоцентром землетрясения, а ближайшая к нему на земной поверхности точка — эпицентром. В гипоцентре возникают продольные и поперечные волны упругости, которые и вызывают землетрясение на земной поверхности. В продольных волнах отклонение частиц от состояния равнове-

сия происходит в направлении распространения волны, а в поперечных — частицы колеблются перпендикулярно к направлению распространения волн. Продольные волны распространяются в твердых и жидких телах, а поперечные только в твердых. Скорость продольных волн в три раза больше поперечных и энергия их также больше. От эпицентра распространяются еще поверхностные волны, скорость которых значительно меньше скорости продольных и поперечных волн.

Наблюдениями установлено, что во время землетрясений имеют место три рода колебаний: сотрясательное, волнообразное и вращательное, причем сотрясательное с наибольшей силой проявляется в эпицентре, заменяясь при удалении от него волнообразным. Из рис. 68 видно, что это зависит от угла, под которым сей-

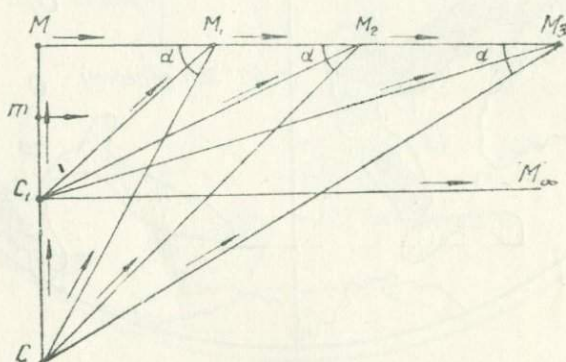


Рис. 68. Зависимость распространения сотрясательного и волнообразного движения от угла выхода сейсмических волн.

смические волны пересекают земную поверхность. В эпицентре волны выходят под прямым углом, а следовательно здесь имеется только вертикальная составляющая и наблюдается одно сотрясательное движение. Чем дальше от эпицентра выходят волны на поверхность, тем меньший угол α они образуют с нею (рис. 68). С уменьшением угла α уменьшается вертикальная составляющая и увеличивается горизонтальная. На некотором расстоянии от эпицентра вертикальная составляющая равна практически нулю, и здесь уже наблюдается одно волнообразное движение. Одно сотрясательное движение имеет место в зоне, где сейсмические волны выходят под углом $90-80^\circ$. В полосе, где угол выхода равен $80-60^\circ$, наблюдаются оба движения, примерно, с одинаковой силой, а при углах меньше 60° — только волнообразное. Однако, угол выхода сейсмических волн зависит не только от расстояния от эпицентра, но и от глубины, на которой расположен гипоцентр (рис. 68). При положении гипоцентра в точке C_1 угол выхода волны α в любой точке поверхности (кроме эпицентра)

меньше, чем при положении гипоцентра в точке С. Следовательно, с уменьшением глубины положения гипоцентра уменьшается площадь распространения отдельных видов сотрясения и землетрясения в целом.

Вращательное движение имеет второстепенное значение и наблюдается только в районе эпицентра при очень сильных землетрясениях. Так, например, во время сильного землетрясения в г. Верном (Алма-Ата) в 1887 г. наблюдались колонны, повернутые вокруг вертикальной оси на угол до 7° .

Сила землетрясения зависит от ускорения сейсмических волн, причем наиболее опасным является ускорение по горизонтальной составляющей. Поэтому все расчеты устойчивости сооружений определяют отношением горизонтальной составляющей ускорения волны к ускорению силы тяжести g (кругло $10\,000$ мм/сек²), называемым коэффициентом сотрясения:

$$k = \frac{a}{g} \quad (4)$$

Разрушение сооружений начинается при $k = 1/100$, а при $k > 1/20$ становится особенно опасным. Ускорение сейсмических волн зависит от механических свойств горных пород; оно значительно больше в рыхлых породах, чем в массивных. Это делает массивные породы и в этом случае более надежным основанием. Если принять опасность разрушения от землетрясения сооружения, построенного на массивных изверженных породах, за единицу, то при прочих равных условиях она выразится:

для песчаника	1,0—2,4
„ влажного песка	1,4—4,4
„ насыпного строительного грунта	4,4—11,6
„ болотного грунта	12,0

Во время землетрясения в Сан-Франциско (Калифорния) в 1906 г. меньше всего пострадали здания, возведенные на скале, и несравненно больше пострадали постройки на песчаном берегу. Особенно сильно сотрясались кварталы, построенные на искусственных насыпях, рыхлые массы которых подпрыгивали и дрожали подобно студню. Однако, во время этого же землетрясения сохранились неповрежденными два бетонных барража, которые лежали в стороне от линии сдвига. Три земляных плотины, которые были затронуты сдвигом, получили более или менее значительные повреждения: продольные и поперечные трещины, осадки и т. п.

Для измерения ускорения сейсмических волн пользуются специальными приборами, называемыми сейсмографами. Сейсмографы являются очень точными приборами, позволяющими уловить даже самые незначительные сотрясения.

Сила землетрясений оценивается с помощью двенадцатибалльной шкалы, принятой Академией Наук СССР. В сокращенном виде эта шкала приведена в табл. 5.

Шкала для оценки силы землетрясений

Балл	Наименование землетрясения и характеристика явлений, сопровождающих его	Ускорение в мм/сек ²
1	Незаметное. Отмечается лишь сейсмографами.	< 2,5
2	Очень слабое. Ощущается особенно нервными людьми, находящимися в полном покое. Легче улавливается в верхних этажах и в ночной тишине.	2,5—5
3	Слабое. Даже в густо населенной местности ощущается лишь небольшой частью населения, как легкое сотрясение от быстро проехавшего экипажа.	5—10
4	Умеренное. Под открытым небом ощущается немногими. Внутри зданий распознается многими. Звон близко стоящих стаканов и оконных стекол. Скрип дверей, балок и полов. Треск потолков. Легкие колебания жидкости в открытых сосудах. Отдельные случаи пробуждения спящих. Испуг такое землетрясение вызывает только у лиц, напуганных более сильными землетрясениями.	10—25
5	Довольно сильное. На улице даже в дневной суете отмечается многими, а в жилых помещениях — всеми, вследствие общего сотрясения здания, как если бы упал какой-либо тяжелый предмет (мешок, мебель). Колебание стульев, кроватей, вместе с находящимися в них лицами, как на корабле при свежей погоде. Все спящие просыпаются. Некоторые лица спасаются бегством на открытый воздух.	25—50
	Ветви и тонкие сучья кустов и деревьев заметно движутся, как будто под действием умеренного ветра. Висячие предметы: занавески, лампы, лампы, и не слишком тяжелые люстры, начинают покачиваться. Звонки звонят. Маятники часов останавливаются или получают более сильный размах, в зависимости от направления толчка — перпендикулярно к колебанию маятника или в том же направлении; в последнем случае остановившиеся маятниковые часы могут вновь пойти. Часовые пружины звенят металлическим звуком. Электрический свет мигает или гаснет вследствие касания проводов. Картины ударяются с треском о стену или сдвигаются. Из наполненных высоких открытых сосудов выливается небольшое количество жидкости. Приложенные к стене предметы, стоящие рамки для фотографий, и безделушки могут быть опрокинуты. Более легкие предметы могут быть сдвинуты с места. Мебель трещит, двери и оконные ставни захлопываются, оконные стекла лопаются.	
6	Сильное. Землетрясение всеми ощущается с ужасом, так что многие выбегают на улицу. Многие думают, что погибают. Жидкости приходят в сильное волнение. Картины срываются со стен, книги и т. п. — с полок, оставаясь на месте вдоль стен, расположенных параллельно направлению удара. Посуда частью разбивается. Устойчивые предметы обстановки, даже	50—100

Балл	Наименование землетрясения и характеристика явлений, сопровождающих его	Ускорение в мм/сек ²
7	<p>отдельные части мебели, сдвигаются с места или опрокидываются. Небольшие колокола в часовнях и церквях звонят; башенные часы начинают бить.</p> <p>Одиночные прочно построенные строения обнаруживают трещины в штукатурке, могущей кое-где с потолков и стен обвалиться. В плохо построенных домах замечаются более значительные повреждения, но все же безопасные.</p> <p>Очень сильное. Домашней обстановке, вследствие опрокидывания и падения даже тяжелых предметов, наносится сильный урон. Более крупные колокола начинают звонить. Ручьи, реки, озера и пруды обнаруживают заметное волнение и помутнение воды. Песчаные и галечные берега местами осыпаются или оползают. Уровень воды в колодцах меняется.</p> <p>Многие дома, даже при добросовестной постройке, страдают от сотрясения; в стенах образуются небольшие трещины, обваливаются более значительные куски штукатурки и лепных украшений, отделяются и обрушиваются карнизы. В заводских трубах образуются трещины, покрышки обваливаются и отдельные кирпичи вываливаются из стен труб. Не совсем исправные трубы дымоходов срезаются по плоскости крыши и повреждают ее. С башен и высоких строений срываются плохо прикрепленные украшения. В фахверковых постройках штукатурка сильно повреждается, особенно в местах стыков.</p> <p>Плохо построенные и ветхие здания подвергаются серьезным повреждениям. Дощатые заборы падают. Сарай, старые каменные ограды, хижины, даже церкви, минареты мечетей и т. п. могут обвалиться. Построенные с особой прочностью на сотрясение антисейсмические постройки, как-то: большинство каменных и деревянных японских домов, деревянные и плетеные строения, каковые применяются в большинстве тропических сейсмических областей, остаются в полной исправности.</p>	100—250
8	<p>Разрушительное. Деревья движутся как при сильном ветре или даже во время бури. Даже наиболее тяжелые предметы обстановки или сдвигаются с места, или опрокидываются. Статуи и т. п. в церквях, общественных местах и на кладбищах поворачиваются на своих цоколях или падают. Каменные ограды разрываются и обрушиваются. Дома, даже при очень прочной постройке, получают серьезнейшие повреждения; в стенах образуются трещины, отдельные строения частично обрушиваются и большинство труб обваливаются. Особенно страдают от сотрясения фабричные трубы и колокольни; их обрушение может причинить близ стоящим сооружениям больше вреда, чем непосредственное воздействие самого землетрясения. Наи-</p>	250—500

Балл	Наименование землетрясения и характеристика явлений, сопровождающих его	Ускорение в мм/сек ²
9	<p>более прочные фабричные трубы разрываются лишь в верхней части и обнаруживают там частичные сдвиги. Антисейсмические японские и т. п. постройки немного повреждаются, обнаруживая небольшие трещины и отваливание штукатурки. Деревянные постройки скрипят и потрескивают в связях. В крутых откосах и в мокрой земле образуются легкие трещины, из которых иногда выступает вода, смешанная местами с песком и илом.</p> <p>Опустошительное. Прочные дома европейской постройки столь серьезно повреждаются, что большое количество их становится непригодным для жилья. Единичные постройки совершенно или же почти полностью обваливаются. Фахверковые постройки сдвигаются с каменного фундамента, что вызывает большие повреждения. Каменные антисейсмические постройки обнаруживают большие повреждения. В срубах деревянных домов образуются трещины, а более старые деревянные дома покашиваются.</p>	500—1000
10	<p>Уничтожающее. Большинство каменных и фахверковых построек разрушается вместе с фундаментом; даже прочные кирпичные стены дают опасные трещины. Процент повреждения у европейских построек больше чем у антисейсмических. Даже хорошо построенные деревянные дома и мосты сильно повреждаются; единичные из них разрушаются. Дамбы, насыпи и плотины подвергаются значительным повреждениям. Железнодорожные рельсы легко изгибаются, а газовые, водопроводные и канализационные трубы разрываются или выворачиваются. В каменных и асфальтовых мостовых образуются трещины или широкие волнообразные складки. В рыхлых и в особенности в сырых грунтах образуются трещины шириною в несколько дециметров. Вдоль берегов рек появляются трещины до метра шириной. Рыхлые грунты сползают со скалистых склонов; части скал обваливаются. От речных берегов и крутых побережий отделяются целые глыбы, а на пологих берегах песчаные массы сползают, что нередко существенно изменяет рельеф. Уровень воды в колодцах часто меняется. Вода из рек, каналов, озер и т. п. выплескивается на берег.</p>	1000—2500
11	<p>Катастрофическое. От каменных построек любых конструкций почти ничего не остается. Даже прочные деревянные и плетневые постройки, особенно близ линий сбросов, могут уцелеть лишь в единичных случаях. Наиболее значительные и прочные мосты разрушаются вследствие обвалов массивных каменных устоев и искривления металлических ферм; более упругие деревянные мосты сопротивляются лучше (рис. 69). Плотины и дамбы совершенно разрываются, часто на большом протяжении. Железнодорожные рельсы сильно</p>	2500—5000

Балл	Наименование землетрясения и характеристика явлений, сопровождающих его	Ускорение в мм/сек ²
12	<p>изгибаются и выворачиваются. Трубопроводы под землей сое шельно рзрываются и приходят в негодность. Верхние слои горных пород испытывают нарушения, зависящие от их свойств. Образуются широкие трещины и расселины. В мягких и водоносных слоях на людаются смещения, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях (рис. 69). На поверхность выступает вода с песком и илом. Происходят многочисленные оползни и обвалы.</p> <p>Необыкновенно катастрофическое. Ни одно сооружение, построенное руками человека, не выдерживает сотрясения. Дислокации горных пород принимают грандиозные размеры: в коренных массивных породах образуются сбросовые трещины с значительной высотой смещения, а также горизонтальные сдвиги. Наблюдаются многочисленные обрушения, обвалы и оползни огромных размеров. Образуются водоплавы, озера; реки меняют свое русло.</p>	>5000

Примером одного из сильнейших катастрофических землетрясений нашей эры служит землетрясение, происшедшее в 1935 г.

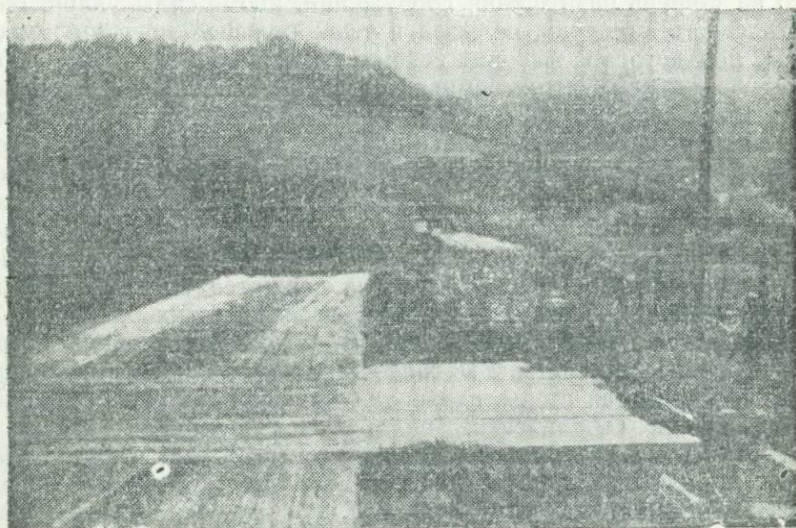


Рис. 69. Смещение в горизонтальном и вертикальном направлениях дороги по сбросовой трещине.

в долине Ганга к югу от Гималаев (Индия). Долина Ганга сложена здесь илом и лессом до 1000 м мощностью, в котором уже на глубине 2 м залегают грунтовые воды. Во время землетрясения

эта корка разрывалась и трескалась в самых разнообразных направлениях, а из трещин высоко вверх фонтанировала вода. Насыпи, устои мостов и т. п. сооружения, которые давили своей тяжестью на разжиженный глинистый грунт, опустились или совершенно исчезли. Легкие сооружения остались на месте или в некоторых случаях были даже на 1,5—2 м подняты вверх. Всего было разрушено 361 мост и труба. Катастрофическим разрушениям подверглись гражданские сооружения, большинство которых превратилось в руины. Огромная территория опустилась на 0,3—1,0 м.

Во время землетрясения в Японии в 1891 г. образовалась очень широкая трещина, длиною в 112 км, края которой переместились в отношении друг друга на 2,5—6 м в вертикальном, и на 1,5—2 м в горизонтальном направлениях. Кроме вытянутых более или менее в одном направлении трещин, при землетрясениях наблюдается часто образование радиальных трещин.

Опускания и провалы также представляют обычные явления во время сильных землетрясений. Так, например, при Лиссабонском землетрясении в 1755 г. мгновенно опустилась набережная с народом, который искал на ней спасения. Глубина моря на месте набережной местами достигла 200 м.

Наблюдения над последствиями землетрясений показывают, что на степень разрушения сооружений, кроме силы удара, геологического строения, рельефа и т. д., большое значение имеет угол, под которым выходит сейсмическая волна и ее направление. Установлено, что сейсмические волны наибольшие разрушения причиняют при выходе под углом 45° — 55° . В то же время различно расположенные части одного и того же здания бывают разрушены в разной степени. Особенно рельефно это выступает на стенах домов. Давно уже установлено, что при землетрясениях две противоположные стены разрушаются гораздо больше, чем другие две. Часто наблюдаются такие случаи, что две стены вываливаются совершенно, а крыша держится на двух других. Это явление учитывается населением сейсмических районов и у них имеются две безопасные стенки, у которых располагаются более ломкие предметы. Выяснилось, что наибольшему разрушению подвергаются стены, перпендикулярные к направлению распространения сейсмических волн. Так, при землетрясении в г. Алма-Ата, эпицентр которого находился в 10 км к югу от города, вываливались преимущественно южные и северные стены.

После землетрясений очень часто наблюдаются случаи, когда при всех равных условиях один дом разрушен полностью, а другой, рядом, совершенно неповрежден или поврежден в незначительной мере. То же можно сказать и о разрушении отдельных кварталов. Это явление давно замечено, но еще мало изучено и объясняется тем, что сейсмические волны при быстром следовании подземных толчков друг за другом подвержены сложной интерференции, в силу которой в одних местах происходит заметное усиление их, а в других — взаимное уничтожение. В первых,

называемых пучностями, наблюдаются максимальные разрушения, а во вторых, которые известны под названием сейсмических островов или пунктов покоя, — минимальные.

Так как землетрясения относятся к явлениям того порядка, которые человек не в состоянии предотвратить, то роль инженерной геологии в данном случае сводится к тому, чтобы довести до возможного минимума разрушения, причиняемые ими. Это достигается учетом всех геолого-сейсмических факторов при выборе места под города и их планировке, а также при проектировании конструкций отдельных сооружений. Главнейшими геолого-сейсмическими факторами, которые требуют предварительного изучения, являются: 1) сила удара и угол его выхода; 2) характер сотрясения; 3) направление сейсмических волн; 4) пучности и сейсмические острова; 5) физико-механические свойства пород и условия их залегания; 6) рельеф местности. Длительные сейсмические наблюдения и подробные инженерно-геологические исследования могут дать достаточно надежный материал. При отсутствии данных сейсмической станции, необходимо собрать сведения о бывших ранее землетрясениях и характере разрушений, вызванных ими.

Выбор места для города или крупного строительства является первым вопросом, который нужно решить. Карта с указанием наибольших вероятных землетрясений для различных территорий будет очень ценным материалом для этой цели. Когда место выбрано или положение его предрешено другими соображениями, необходимо приступить к планировке. При этом особенно важно получить от сейсмологов данные о расположении ближайших эпицентров, вероятных направлениях сейсмических волн, сейсмических островах и пучностях. В то же время геологи должны представить сведения о горных породах в районе строительства. Сопоставление всех этих данных дает возможность выбрать наименее опасные участки, на которых должны быть расположены наиболее ответственные общественные сооружения: электрические станции, водонапорные башни и т. п. Места, подверженные наибольшим сотрясениям, могут быть использованы под площади, которые должны быть предусмотрены в большом количестве, чтобы население могло найти на них спасение во время бедствия. Знание направления волн дает возможность запроектировать направление улиц и водопроводов, а также выбрать расположение стен домов, при котором сейсмические волны будут проходить по диагонали сооружений, так как в этом случае здания меньше всего подвергаются разрушениям.

При планировке в сейсмических областях предъявляется еще ряд специфических требований: 1) улицы должны быть в три или четыре раза шире, чем высота домов; 2) между домами необходимы промежутки, на которых можно было бы укрыться от падающих камней, труб и т. д.; 3) водопроводные трубы должны иметь по крайней мере два става, проложенных в разных направ-

лениях; 4) желательны резервуары с водой для тушения пожаров, возникающих во время землетрясений.

Специальные конструкции, которые лучше обычных выдерживают сотрясение, называются антисейсмическими. Они должны быть массивными, жесткими и иметь значительный вес, или быть сравнительно менее прочными, но отличаться гибкостью, которая допускала бы некоторую деформацию без разрыва сплошности. Типичными жесткими антисейсмическими конструкциями будут железобетонные, а упругими — деревянные и фахверковые. Кроме того, для увеличения стойкости сооружений в сейсмических областях стремятся центр тяжести зданий опускать возможно ниже. Для этого фундаменты закладывают глубоко и избегают тяжелых (черепичных) крыш и труб. Последние делаются из железа, обернутые асбестом снаружи, или кирпичные в футлярах.

Каменные, кирпичные и бетонные арки не допускаются; только в крайнем случае применяют бетонные арки с железным каркасом. Вместо каменных лестниц делают деревянные. Карнизы, балконы и различные украшения в виде ваз и т. п., не разрешаются. Печи внутри зданий делаются только в железных футлярах.

Деревянные здания строят не выше двух этажей.

Часть III

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЭКЗОГЕННЫХ СИЛ

Глава VII ВЫВЕТРИВАНИЕ

Солнечное тепло и сила тяжести являются экзогенными, т. е. внешними силами, проявляющимися на поверхности земли. Геологическая деятельность этих сил сводится к тому, что они разрушают породы, слагающие горные хребты, образованные эндогенными, т. е. внутренними силами, а продукты разрушения переносят в пониженные места рельефа, где из них образуются новые осадочные породы. Таким образом, экзогенные силы стремятся сравнять неровности земной поверхности и разрушить все горные породы, которые находятся над уровнем моря.

Главнейшими агентами экзогенных сил, выполняющими разрушительную работу, служат: атмосфера, вода и организмы. Вся совокупность геологических явлений, которая наблюдается в результате деятельности этих агентов, известна под именем денудационных процессов. По мере остывания земли, роль денудационных процессов все время увеличивалась, а поле их деятельности постепенно расширялось. На настоящем этапе жизни Земли они заметно преобладают над эндогенными и результаты их деятельности видны на каждом шагу. Ни одно инженерное сооружение не может быть построено вне деятельности денудационных агентов, и тех продуктов, которые образуются в результате ее.

Все процессы видоизменения и разрушения горных пород, происходящие на поверхности и в верхнем слое литосферы под влиянием атмосферы, поверхностных вод и организмов называются выветриванием. По своему характеру выветривание подразделяется на физическое, химическое и органическое, которые тесно связаны между собой и обычно проявляются совместно. Часть земной коры, в которой протекают процессы выветривания, называется корой выветривания. Мощность ее не больше 0,5 км, а очень часто и гораздо меньше.

Физическое выветривание характеризуется тем, что химический состав разрушаемых пород не меняется. Оно обуславливается, главным образом, резкими колебаниями температуры на земной поверхности и механическим действием

замерзающей воды. Резкими колебаниями температуры являются суточные, которые распространяются только на глубину 1—3 м, но тем не менее играют главную роль в механическом выветривании. Годичные колебания достигают гораздо больших глубин, но роль их в процессе механического выветривания незначительна, так как они происходят медленно.

Степень нагревания солнечными лучами зависит не только от количества тепла, падающего на единицу поверхности, но и от степени шероховатости, цвета, теплопроводности и теплоемкости горных пород. Теплоемкость различных пород разная, но как правило, она составляет 0,20—0,25 от теплоемкости воды, т. е. днем породы нагреваются, а ночью остывают гораздо быстрее, чем вода. В то же время, при одинаковой теплоемкости, породы, окрашенные в темные цвета, нагреваются и остывают быстрее, чем светлые, а шероховатые быстрее, чем породы с гладкой поверхностью.

Так как у полиминеральных горных пород каждый минерал имеет различный коэффициент линейного расширения и по-разному нагревается, то очевидно, что с повышением температуры минералы неодинаково увеличиваются в объеме и давят друг на друга. Повторные нагревания и остывания вызывают постоянные напряжения в породе и приводят к образованию трещин, размеры которых постепенно увеличиваются. С этого момента процесс выветривания породы идет еще быстрее. В трещины попадает вода, которая, замерзая, может давить с силой 150 кг/см². Раздвигая отдельные глыбы, корни деревьев еще более ускоряют процесс выветривания, в результате которого плотные породы превращаются в конце концов в дресву.

Степень морозостойкости горных пород в условиях умеренного климата имеет очень важное значение при оценке их как строительного материала. Равномернозернистые породы разрушаются медленнее неравномернозернистых, крупнозернистые — быстрее мелкозернистых, а мономинеральные породы гораздо более морозостойки, чем полиминеральные.

Кроме структурных особенностей, на морозостойкость породы влияет и ее текстура. Особенно большое значение в этом отношении имеет пористость, так как при полном насыщении пор водой и переменном замораживании и оттаивании происходит быстрое выветривание породы. В случае неполного насыщения пор водой, т. е. такого, когда вода, замерзая, будет иметь пространство для расширения, интенсивного выветривания породы наблюдаться не будет.

Для определения морозостойкости породы пользуются коэффициентом насыщения:

$$s = \frac{w_1}{w_2} \quad (5)$$

где w_1 — количество (вес) воды, удерживаемое породой при медленном ее пропитывании, а w_2 — количество воды, необходи-

мое для полного насыщения под давлением в 150 атм. Из (5) видно, что чем меньше коэффициент насыщения, тем большая часть пор остается не заполненной водой, т. е. тем большей морозостойкостью порода обладает. Удовлетворительными на морозостойкость считаются породы с коэффициентом насыщения, не превышающим 0,75—0,8. При неравномерном распределении пор, какое наблюдается в сланцевых породах, разрушение может наступать и при меньших коэффициентах насыщения.

Особенно сильно физическое выветривание проявляется в пустынях, где суточные колебания температуры достигают 50—60°, а лишенные растительного покрова горные породы ничем не предохраняются от сильной инсоляции днем и быстрого остывания ночью. Породы в пустынях сверху всегда разбиты трещинами на остроугольные обломки и на скорлуповатые слои различной толщины.

Так как в породах со сланцеватой текстурой нагревание и охлаждение по плоскостям сланцеватости происходит в 2—3 раза быстрее, чем в перпендикулярном к ним направлении, то кристаллические сланцы легко рассланцовываются на тонкие пластинки, выветриваясь гораздо быстрее пород с массивной и плотной текстурами (рис. 42).

Химическое выветривание происходит вследствие химического воздействия атмосферы и воды на горные породы, в результате которого они меняют свой химический состав. Процесс химического выветривания происходит путем прямого растворения горных пород или изменения их химического состава в результате различных реакций. Некоторые минералы и породы настолько быстро и легко растворяются, что могут сохраняться только в том случае, если не соприкасаются с водой, а изолированы от нее другими водонепроницаемыми породами. Примером такой породы служит каменная соль, 36 частей которой растворяются в 100 частях воды при 15° С. При повышении температуры до 100° С растворимость соли увеличивается до 40 частей в 100 частях воды. Сернокислые соединения: гипс и ангидрид более устойчивы, но все же их растворимость тоже высокая; первый растворяется в количестве 25, а второй 20 частей в 10 000 частях воды. Также сравнительно легко растворяются углекислые соединения: известняк, доломит, мрамор, хотя они еще более стойки и их растворимость не превышает 10 частей в 10 000 частях воды; при наличии углекислоты в воздухе и в воде растворимость их повышается.

Все прочие породы поддаются в ничтожной степени непосредственному растворению водой и относятся к практически нерастворимым. При проникновении воды на глубину активность ее увеличивается, так как там повышается давление и температура; при температуре ниже 0° химическое выветривание практически не происходит.

При химическом выветривании пород протекают самые разнообразные реакции, но наибольшее значение имеют о к и с л е н и е

и гидролиз. Окисление происходит за счет кислорода воздуха и влечет за собой переход закисей в окиси, что обычно связано с уменьшением в объеме с последующим образованием пустот и трещин. При окислении разлагаются сульфиды (пирит), выделяя при этом вредно действующую на прочие минералы серную кислоту. Окиси и кислотные составные части силикатов в результате гидролиза переходят в гидроокиси, которые затем с различными кислотами дают легко растворимые соли. Переход первичных минералов во вторичные, как, например, образование каолинита из полевого шпата, очень часто происходит в результате химического выветривания.

Органическое выветривание обуславливается влиянием растений и животных на горные породы. В основном оно является химическим выветриванием и состоит в разрушающем действии органических кислот, выделяемых организмами. Первыми на горных породах обычно поселяются лишайники, а затем мхи. Для своего питания они нуждаются в воде, углекислоте и минеральных веществах, которые им доставляет порода или атмосферная пыль. Постепенно разрушая поверхностный слой породы, эти неприхотливые растения готовят почву для более высоко организованных растений. Последние же уже воздействуют на породу не только химически, но и физически, разрушая ее своими корнями, проникающими во все трещины.

Роль различных бактерий и даже червей в органическом выветривании также значительна.

Все три типа выветривания: физическое, химическое и органическое имеют место во всех климатических зонах, но степень проявления каждого из них находится в тесной зависимости от климата. Во влажных экваториальных областях, где при высокой температуре воздуха идут сильные дожди, наиболее интенсивно протекают химические процессы. Одновременно достаточно рельефно выступает и органическое выветривание. Наиболее характерным для тропиков является накопление в верхних слоях красного гидрата окиси железа. Это приводит к тому, что окончательный продукт выветривания имеет красную окраску. Он называется л а т е р и т о м и состоит главным образом из гидроокислов железа и алюминия. Слоем до десятков метров покрывает он обширные пространства тропических и частично субтропических стран.

В сухом пустынном климате преобладает физическое выветривание, а мелкие продукты разрушения немедленно уносятся ветрами. Благодаря этому, породы не получают защитного почвенного покрова, а все время подвергаются резким суточным температурным изменениям. Химическое и органическое выветривание имеет здесь второстепенное значение.

В зонах умеренного пояса, где наблюдаются сезонные изменения климата, играют определенную роль все три типа выветривания. Зимой главную роль играет мороз, а весной, летом и осенью — поверхностные и просачивающиеся вглубь воды. За

исключением областей с резко континентальным климатом, территории, расположенные на небольших абсолютных отметках, как правило, не подвержены резким колебаниям температуры, и наиболее обычным типом выветривания здесь являются растворение и химическое изменение. При повышении высоты местности значение физического выветривания увеличивается.

В полярных областях, где обширные площади большую часть года покрыты снегом, горные породы перенасыщены водой от таяния снега летом, которая зимой замерзает. Таким образом главным агентом выветривания здесь будет замерзающая вода, в результате механической деятельности которой горные породы покрываются скоплением остроугольных обломков. Аналогичные условия выветривания наблюдаются также и на снежных вершинах высоких гор в средних и экваториальных широтах.

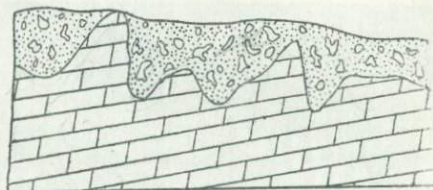


Рис. 70. Элювий.

В результате выветривания изменяются очертания гор и отдельных скал, принимая при неоднородном строении причудливые формы. На равнинах поверхность коренных пород становится неровной и изобилует карманами, в которых рыхлые продукты выветривания имеют большую мощность (рис. 70). Эти сохранившиеся на месте остатки материнской породы, которые защищают ее от дальнейшего выветривания, называются элювием. Совершенно рыхлый с поверхности, элювий с глубиной незаметно переходит в материнскую породу, сохраняя даже иногда в виде своеобразной полосчатости следы слоистости, которую она имела. Обычно же элювий представляет собой совершенно

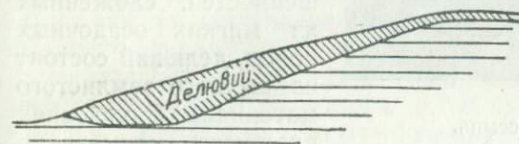


Рис. 71. Делювиальный плащ.

неотсортированный неслоистый материал, образующий покров различной мощности в пределах нескольких метров.

На горных вершинах и крутых склонах продукты выветривания не остаются на месте. В силу тяжести, а во влажном климате при участии стекающей по склону воды, они постепенно скатываются и передвигаются сверху вниз, скапливаясь на склонах и у основания возвышенностей. Здесь они образуют отложения, называемые делювием, который покрывает нижнюю часть склона, достигая максимальной мощности у подошвы горы (рис. 71). Таким образом, делювий представляет преимущественно продукт выветривания, перенесенный на небольшое

расстояние. Этим делювий отличается от элювия, который залегают на месте его возникновения. Кроме того, элювий имеет однородный минералогический состав, в то время, как делювий может быть сложен обломками самых различных пород и залегают на породе, с которой генетически не связан. Отсутствие параллельной слоистости в делювии позволяет его также легко отличить от параллельно слоистых осадочных пород.

Характер делювия зависит от свойств тех пород, продуктом выветривания которых он является. На склонах гор, сложенных



Рис. 72. Гранитная россыпь.

из твердых пород, он состоит из скопления разнородных обломков без признаков слоистости и сортировки. При отвесных или крутых склонах, обломки скапливаются до самого низа и образуют конические накопления, называемые осыпями. Когда склон сглаживается и становится положе, скопления камней образуют широкие полосы, которые доходят иногда чуть не до вершины горы и получают название россыпей (рис. 72).

На склонах возвышенностей, сложенных из мягких осадочных пород, делювий состоит из рыхлого землистого материала. В условиях влажного климата в нем обнаруживается

даже некоторая сортировка и слоистость, которая всегда имеет наклон к горизонту. Угол наклона в верхних слоях положе, чем в нижних, что объясняется постепенным выполаживанием склона, на котором образуется делювий. Так как сила стекающих по склону струй воды постепенно ослабевает, то крупность материала, слагающего делювиальный плащ, уменьшается сверху вниз, и на периферии могут образоваться даже делювиальные глины.

Вследствие рыхлого сложения и залегания на косогоре делювий склонен давать осадки и сползать вниз, что делает его обычно ненадежным основанием под сооружения.

За исключением крутых обрывов и пустынных областей, горные породы почти всегда прикрыты более или менее мощными

продуктами выветривания, в верхних слоях которых растения укрепляют свои корни. Этот слой, представляющий собой конечный продукт процессов выветривания, питает покрывающую его растительность и называется почвой. В зависимости от петрографического характера пород, из которых образовались почвы, они бывают песчаные, глинистые, иловатые и гравелистые. Прорастание растений и выветривание пород находятся во взаимной связи. Разлагающиеся остатки растений дают гумус, который способствует дальнейшему выветриванию пород, но в то же время увеличивает плодородие почв.

Характер почв зависит также от климатических условий и служит объектом изучения специальной ветви геологических наук — почвоведения. Самыми характерными из выделяемых разновидностей почв являются: 1) латериты и красноземы — почвы влажного тропического климата, 2) буроземы — почвы климата, переходного к сухому степному, 3) черноземы — почвы умеренного влажного климата и 4) подзолы — почвы холодного влажного климата. В стронительном деле почвы часто называются растительной землей.

При заложении сооружений всегда стремятся снять почву и эловий, чтобы обосновать сооружение на свежей породе.

Глава VIII

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВЕТРА

Кроме температуры, влажности и осадков, ветры являются существенным элементом климата и прodelьвают большую геологическую работу. Хотя они отличаются большим непостоянством как по направлению, так и по силе, все же среди них выделяют несколько групп: пассаты, т. е. ветры, дующие из субтропических областей в тропические, муссоны, дующие зимой с материков на океаны, а летом обратно, и местные ветры. Последние имеют большое значение для СССР и в свою очередь могут быть подразделены на бризы или береговые ветры, образующиеся вследствие неравномерного нагревания воды и суши и дующие по берегам озер и морей, долинные ветры, связанные с горными долинами и долинами рек равнинных пространств, причем днем они дуют вверх, а ночью — вниз по долине, и ветры пустынь, которые летом отличаются высокой температурой и сухостью.

В бедных дождями или совершенно лишенных дождей пустынных странах, рыхлые продукты выветривания не остаются на месте, а подхватываются ветром, который несет их в виде тучи пыли и песка (рис. 73). Ветер прodelьвает здесь большую геологическую работу, состоящую из трех последовательных этапов: развевания, переноса и отложения.



Рис. 73. Песчаная буря в Закаспийской пустыне.

Развевание выражается, прежде всего, в выносе мелких частиц из того рыхлого материала, который прикрывает свежую невыветрелую породу. Остающиеся на месте крупные обломки дают море камней, покрывающее обширные пространства, на-

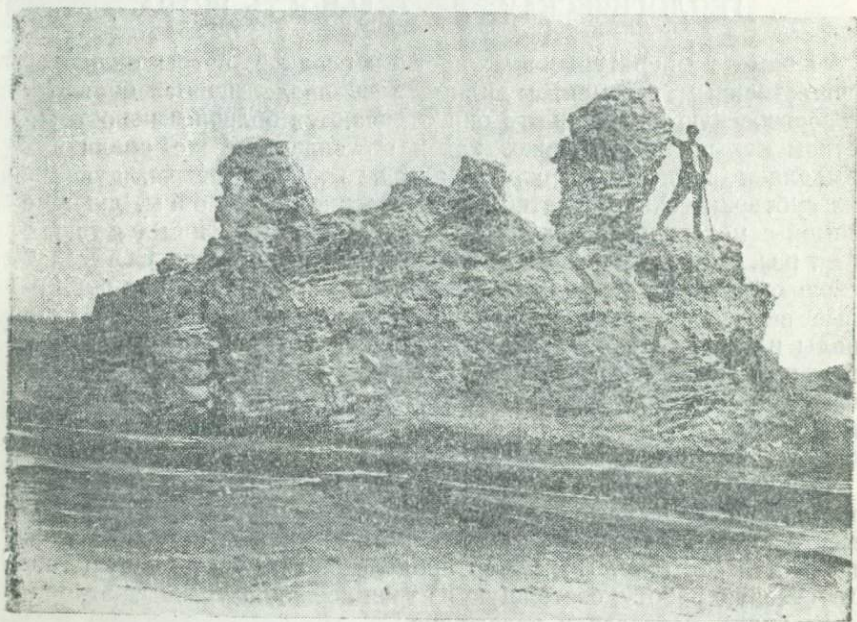


Рис. 74. Формы развевания твердых пород в пустыне.

зываемые каменистыми и кремнистыми пустынями.

Поднятые воздушными токами, частицы также продолжают разрушительную работу. Они, как шлифовальный порошок, истирают и шлифуют даже наиболее твердые скалы, придавая им прихотливые очертания (рис. 74). На рисунке видны многочисленные мелкие углубления, совпадающие с более слабыми, легче обтачиваемыми местами. Если перекрывающая порода более прочная, то в результате длительного обтачивания получаются грибовидные скалы, называемые золовыми столбами (рис. 75). Чем сложнее геологическое строение и разнороднее по своему составу горные породы, тем разнообразнее формы разветвления.

Разветвление наблюдается также в степных и лесостепных районах, в случае, когда защитный травяной покров бывает уничтожен. Так, колеи проселочных дорог всегда бывают углублены за счет выносимой ветром пыли. В южных рай-



Рис. 75. Золовые столбы.

онах СССР эти углубления на склонах бывают до 0,5 м и более, достигая в Средней Азии до 6 м. В Китае, где развиты мощные лессовые отложения, на дорогах встречаются углубления до 30 м, превращающиеся в своеобразные ущелья, называемые гольвегами.

Перенос воздушными потоками измельченного разветвлением материала происходит либо во взвешенном состоянии, либо перекатыванием по поверхности земли. Способ переноса находится в зависимости от размеров, формы и веса частиц, а также силы ветра.

Обыкновенный ветер в состоянии поднять только пылеватые частицы, песчаные же зерна он передвигает перекатыванием. Сильный бриз со скоростью до 25 км в час двигает песчаные

зёрна до миллиметра в диаметре, а шторм и ураган поднимают песок на сотни метров и перекачивают гальки в 5—7 см в диаметре.

Пылеватые частицы и мелкий песок переносятся во взвешенном состоянии на сотни и даже тысячи километров, держась месяцами в воздухе в виде сухого тумана. Более крупные песчинки переносятся во время песчаных бурь, когда воздух настолько переполнен песком, что в нескольких метрах ничего не видно (рис. 73) и в домах днем зажигают огни. В результате такой бури, происшедшей в Сахаре с 9 по 12 марта 1901 г., над Европой, т. е. в расстоянии от 200 до 2500 км, отложилось огромное количество песка и пыли. Перенос перекачиванием происходит на расстояниях в пределах около 5 км, но все же в исключительных случаях может достигать 100 км.

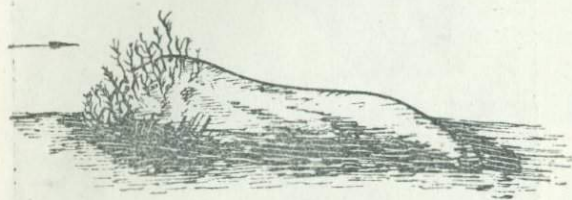


Рис. 76. Песчаный холмик-коса.

Несмотря на то, что сила ветров и их направление несравненно чаще меняются, чем направление поверхностных водных потоков, они производят более тонкую сортировку обломочного материала.

Это объясняется тем, что при сравнительно небольшом увлечении размеров частиц, для их переноса требуется ветер значительно большей силы.

Отложение перенесенного материала наступает при уменьшении силы ветра. При благоприятных условиях этот материал скапливается, образуя так называемые золотые отложения. Так как при физическом и химическом выветривании, развевании и переносе самым стойким минералом является кварц, то по минералогическому составу золотые отложения состоят почти исключительно из пылинок и зерен кварца и родственных ему минералов.

Типичным золотым отложением, образовавшимся за счет мелких пылеватых частиц, перенесенных на громадные расстояния, является лесс (глава III). Осаждение этих частиц из воздуха происходит очень медленно, но в течение весьма длительного времени, вследствие чего мощность лесса иногда измеряется сотнями метров (Китай).

Переносимый ветрами песок отлагается в виде песчаных холмов и гряд, называемых дюнами. Они образуются в результате накопления песка перед сплошной или несплошной преградой. Перед несплошной преградой, какой могут являться отдельные кусты, группы деревьев, забор и т. п., песок скапливается на подветренной стороне, образуя первоначально маленькую косу около метра в ширину и высоту, при длине до 10 м (рис. 76).

В этой стадии развития песчаный холмик имеет крутой наветренный и пологий подветренный склон. Постепенно увеличиваясь, холмик песка сам начинает задерживать несомый ветром материал на наветренной стороне. В силу этого, наветренная сторона выполаживается, а подветренная становится крутой, и песчаный холмик превращается в настоящую дюну (рис. 77). Перед

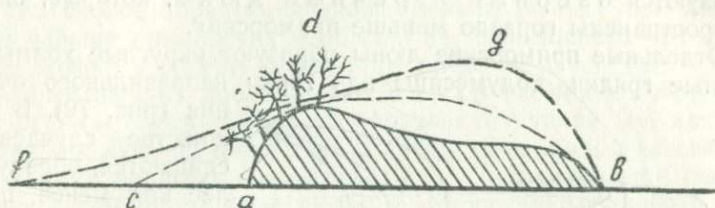


Рис. 77. Преобразование холмика-косы в дюну:

ab — холмик-коса, *cdb* — переходная стадия, *fdgb* — сформировавшаяся дюна.

сплошной преградой песок скапливается на наветренной стороне, образуя бугор, который не соприкасается с преградой. Между бугром и преградой остается канавка, так как перед препятствием происходит сжатие воздуха, вследствие которого возникают воздушные токи, выносящие песок в стороны и вверх. Канавка засыпается только после того, как высота песчаного холма достигнет высоты препятствия и с этого момента образуется настоящая дюна.

Дальнейшее накопление песка на сформировавшейся дюне происходит частично с наветренной, но главным образом с подветренной стороны. Последняя все время остается более крутой, сохраняя откос $15-25^\circ$ и даже 30° , в то время так наветренный склон обычно бывает не круче $5-15^\circ$.



Рис. 78. Разрез дюнного хояма.

В соответствии с условиями образования, дюны имеют слоистое строение, но слои залегают не горизонтально, а следуют, примерно, параллельно наветренному и подветренному склонам холмов (рис. 78). Крупность зерен песка, слагающего дюны, обычно около $0,5$ мм в диаметре и, как правило, не превышает 2 мм в диаметре.

Поверхность дюн всегда покрыта песчаной рябью, которая наблюдается также на дне рек, озер и морей. Грядки ряби представляют дюны в миниатюре, образовавшиеся таким же путем, как большие дюны.

Размеры и форма дюн зависят от места их образования, количества поступающего песка и силы ветров, а также постоянства их направления. Дюны очень часто образуются на опускающихся пологих берегах континентов. Так, например, дюны прослеживаются по всему северному берегу Европы; начинаясь в

Советском Союзе, они наблюдаются в северной Германии, Голландии, Бельгии и Франции. Так как источником песка для дюн служат, главным образом, плоские побережья и отмели, здесь имеются наиболее благоприятные условия для развития так называемых приморских дюн. Подобные же условия имеют место на берегах больших озер и в плоских речных долинах, где образуются озерные и речные дюны, которые, однако, распространены гораздо меньше приморских.

Отдельные приморские дюны образуют округлые холмы, вытянутые грядки, полумесяцы или горки неправильного очертания (рис. 79). В большинстве случаев они сливаются, образуя более или менее параллельные между собой гряды, протягивающиеся вдоль берега. Чем дальше от берега удаляются дюны, тем более они теряют характер рядов и приобретают вид беспорядочно нагроможденных холмов. Углубления между холмами представляют или котловины выдувания, или покинутые

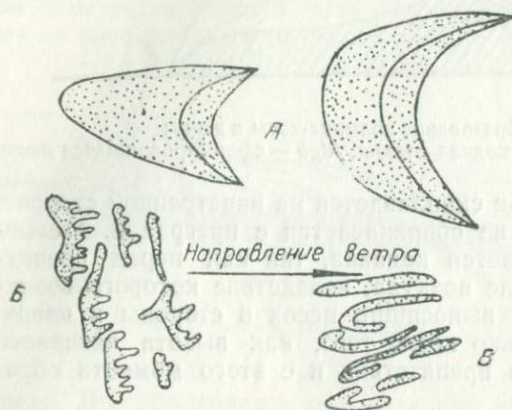


Рис. 79. Формы дюн:

А — образовавшиеся при малом количестве песка и умеренном ветре, Б — образовавшиеся при большом поступлении песка и умеренном ветре, В — образовавшиеся при большом поступлении песка и сильном ветре.

русла речек, или морские лагуны, отделенные от моря перемычкой песка.

Высота дюн различна; в СССР она обычно

не выше 30 м, на берегах Немецкого моря и в Англии она доходит до 30—40 м, во Франции до 100—150 м, а в Тунисе даже до 200 м.

Дюны не остаются на месте. Все время песок с наветренного склона пересыпается ветром через гребень холма на подветренный, в результате чего происходит продвижение дюн по направлению ветра. Так как ветром должно быть пересыпано большое количество песка, то обычно дюны передвигаются медленно, на доли метра в год. Однако, местами они движутся со скоростью 1—20 м в год, а мелкие гряды — даже до 3 м в сутки. Ширина полосы дюнных песков бывает от нескольких сот метров до 50 км и более.

Продвигаясь внутрь страны, дюны засыпают культурные земли и леса, нанося ущерб сельскому хозяйству. Они отклоняют устья рек в сторону господствующих ветров; так, например, устье р. Виндавы переместилось на 10 км от места своего перво-

начального впадения в Балтийское море. Иногда дюны пересыпают русло реки, запруживая ее и образуя береговое озеро, например Нарвское озеро. В то же время дюны наносят ущерб портовым сооружениям как речного, так и морского флота.

Речные дюны чаще всего образуются в низовьях рек, где больше всего отлагается рыхлых песков, которые в межень служат материалом для дюн. Чем шире долина реки и суше климат, тем скорее образуются дюны. Высота речных дюн несравненно меньше приморских и обычно не превышает 5—10 м, достигая только у р. Усть-Медведицы до 20 м.

Особый интерес представляют барханы или материковые дюны. Хотя способ их образования такой же, как и у приморских дюн, но они развиты среди материков и не связаны ни с какими водными бассейнами. Они гораздо больше распространены, чем приморские дюны, и покрывают обширные площади в странах с сухим, знойным пустынным климатом. Здесь геологическая деятельность ветра достигает своего апогея и в этих областях он является главным агентом экзогенных сил, преобразующим рельеф поверхности.

Сливаясь вместе, барханы теряют типичную для них форму полумесяца и превращаются как бы в застывшее море песков. Высота барханов обычно находится в пределах 2—10 м, хотя при благоприятных случаях достигает до 100 и даже до 150 м.

Скорость движения барханов также разнообразна, как и приморских дюн. Мелкие барханы передвигаются со скоростью до 10 м в сутки, а большие барханы — только около 2—3 м в год.

Кроме подвижных барханов, в пустынях, под влиянием влаги и растительности, на больших площадях образуются скопления неподвижных песков. Среди отложений этого типа наиболее широко распространены кучевые и бугристые пески. Кучевые пески образуются в виде небольших холмиков под прикрытием различных растений, произрастающих в условиях пустынного климата, как саксаул, тамариск и т. п. Встречаются они вблизи рек и озер, а также по окраинам оазисов и на дне плоских впадин. Бугристые пески представляют собой бугры неправильной формы до 10 м высотой, которые местами соединяются в гряды. Бугристые пески только местами не покрыты растительностью и представляют маленькие барханы, обычно же на их склонах растут крупные кусты кызыл-джузгана и саксаула, которые образуют целые роши.

Неподвижные пески не отличаются той чистотой и однородностью, которая свойственна подвижным барханам. В них имеется заметная примесь глинистых частиц и даже встречаются глинистые прослойки и углистое вещество, связанное с наличием растительности.

Так как занос культурных площадей и отдельных сооружений дюнами и барханами — обычное явление в прибрежных районах и в областях с полупустынным резко континентальным климатом, то борьбе с ними уже с давних времен уделялось много

внимания, давно отыскивались способы по прекращению передвижения песков. В основном эти способы заключаются в устройстве передовой дюны и в облесении подвижных песков.

Передовая дюна имеет задачей воспрепятствовать ветру уносить выбрасываемый на берег песок и тем самым лишить дюнные холмы нового материала. Для этого в 50 м от уреза воды во время прилива устанавливаются дощатый палисад. Когда у палисада образуется песчаный вал, палисад поднимают с помощью рычагов. Потом с течением времени эта операция повторяется, пока не образуется дюна желательных размеров и формы. После этого передовую дюну стараются засадить тростником и другой растительностью. Одновременно приступают к облесению дюн, ушедших вглубь страны. Передовая дюна, кроме того, что задерживает на себе песок, служит также плотиной, задерживающей наступление моря.

Облесение дюн обычно начинается с разведения отдельных экземпляров горной сосны и различных других растений, произрастающих на сыпуче-песчаной почве. По мере зарастания дюн, на них развивается почвенный покров и рельеф постепенно спланивается, приобретает плавную-волнистую очертания. Когда на дюнах разовьются связный, хорошо укоренившийся растительный покров, они теряют свою подвижность и значительные территории могут использоваться для народнохозяйственных целей.

Закрепление дюн может быть произведено с помощью нефтявания тяжелыми сортами нефти. Однако этот способ очень дорогой и может окупить себя только в особых случаях.

Закрепленный дюнный ландшафт требует внимательного, бережного отношения, так как при мало-мальски благоприятных к тому условиях он может снова сделаться подвижным. Часто для этого достаточно прогона и пастьбы скота, проложения дорог, неумеренной вспашки и хищнического истребления леса. История Европы имеет много примеров, когда сплошь покрытые лесами дюны, благодаря неразумной деятельности человека, снова приходили в движение. Все эти особенности эоловых отложений необходимо учитывать при инженерных мероприятиях и заботиться о том, чтобы возможно меньше нарушался нормальный ход геологических процессов, которые производит ветер, и использовать их в своих интересах. Все время следует помнить, что несравненно легче избежать движения дюн, чем остановить их.

Насколько важно правильное использование сил природы при возведении инженерных сооружений, показывает опыт строительства Закаспийской железной дороги. Большинство насыпей этой дороги расположено почти перпендикулярно к направлению господствующих ветров и развевалось ими. Принимавшиеся мероприятия по укреплению откосов глиной, хворостом и т. п. не давали положительного эффекта. Только когда был использован принцип образования дюны за сплошной преградой, проблема была решена. Для этой цели из ветвей саксаула готовили

пучки, которые вставляли в бровку насыпи (рис. 80). В результате не только не происходило развевание, но между бровкой и рельсами образовывался валик песка. Перед валиком возникали вертикальные воздушные токи, которые переносили песок через рельсы и отлагали его по другую сторону насыпи (рис. 80). Когда валик возрастал настолько, что должна была образоваться настоящая дюна, которая бы засыпала насыпь, валик счищали и снова устраивали несплошную преграду. Этот ремонт производился легко и стоил дешево.

Характерной геотехнической особенностью эоловых песков является рыхлое сложение и высокая пористость, которая доходит до 50%. Сопротивление сдвигу обуславливается исключительно силами трения, причем коэффициент трения $f = 0,60 - 0,70$, что соответствует углу внутреннего трения $\varphi = 31 - 35^\circ$. В сухом состоянии эоловые пески служат неплохим основанием под сооружения, но несущая способность их обуславливается в первую очередь глубиной заложения фундамента, которая должна быть возможно большей. Возведение вибрирующих сооружений на эоловых песках нежелательно, так как вызываемое постоянным сотрясением уплотнение песка может послужить причиной неравномерных осадок. Вследствие совершенной окатанности отдельных песчинок, при насыщении водой эоловые пески легко принимают состояние плывуна.

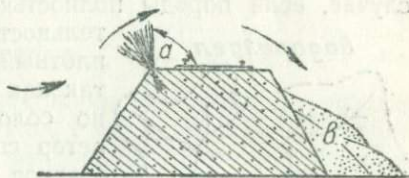


Рис. 80. Мероприятие, предохраняющее железнодорожную насыпь от развевания.

Глава IX

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ТЕКУЧИХ ВОД

Общие сведения

Проточные воды являются самым мощным агентом экзогенных сил. Они непрерывно работают над моделировкой земной поверхности и так же, как ветер, разрушают одни горные породы и отлагают другие. С геологической деятельностью проточных вод инженеру приходится повсюду иметь дело, что делает знание законов, согласно которым текучие воды производят свою разрушительную и созидательную работу, исключительно важным. Главным источником для питания текучих вод служат атмосферные осадки, количество которых различно в разных местах земной поверхности. В СССР максимальное количество атмосферных осадков выпадает на Черноморском побережье Кавказа, где оно достигает 240 см в год, в бассейне же Каспийского моря количество осадков составляет всего около 20 см. В некоторых районах Индии оно превосходит 1300 см в год, в то время как в Сахаре — меньше 25 см. Количество осадков

зависит от ветров, приносящих влагу из областей испарения в районы, где температура благоприятствует конденсации паров и выпадению дождя. Таким образом, чтобы понять распределение осадков, необходимо знать направление ветров, рельеф местности, через которую дуют ветры, и климатические условия. Выпавшая в виде осадков влага частично испаряется непосредственно со смоченной поверхности, другая часть просачивается вглубь и третья часть, называемая стоком, стекает по поверхности земли. При одном и том же количестве осадков, размер стока тем больше, чем пересеченнее рельеф местности и чем меньше пористость слагающих ее горных пород. Однако районы с пористыми горными породами также дают большой сток в том случае, если породы полностью насыщены водой. Хотя растительность обычно уменьшает сток, но плотный дерн на склоне увеличивает его, так как по дерну вода скатывается как по соломенной крыше. Сухой горячий ветер способствует быстрому испарению осадков с поверхности земли и в пустынных районах испарение происходит почти немедленно. Между тем, в жарких, но влажных тропических областях испаряется только небольшая часть осадков.

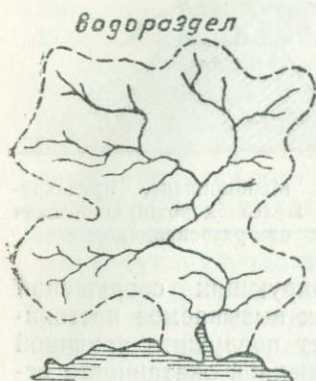


Рис. 81. Речной бассейн.

При прочих равных условиях, чем больше выпадает осадков, тем больший процент идет на сток. Для ряда районов сток достигает 50% количества осадков, а для других районов — только 5% и даже меньше. Для практических расчетов коэффициентом стока, т. е. отношением стока к осадкам.

Капли дождя, выпавшие на поверхность земли, отдельными струйками стекают вниз, следуя уклону местности. Соединяясь, струйки дают ручейки, которые сливаются в речки и реки. Главная река со всеми притоками называется речной системой, а площадь, с которой сток поступает в нее, — речным бассейном (рис. 81). Линия, ограничивающая речной бассейн, называется водораздельной линией, или водоразделом.

Каждая капля воды в атмосфере обладает потенциальной энергией, которая теоретически равна произведению ее массы на превышение над поверхностью воды в море и соответствует работе солнечного тепла, поднявшего ее. Работоспособность воды в каждой точке ее пути определяется кинетической энергией w :

$$w = \frac{1}{2} mv^2, \quad (6)$$

где m — масса воды, а v — скорость ее движения. Так как скорость движения воды зависит в первую очередь от наклона

местности, то из уравнения (6) следует, что чем круче рельеф местности и водообильнее поток, тем большую работу он производит.

Вся механическая работа, которую проделывает текущая вода с момента выпадения из атмосферы в виде осадков и до достижения уровня воды в море, очень разнообразна. Она может быть подразделена на следующие главнейшие этапы: разрушение, перенос и обтачивание со шлифованием, которые являются нераздельными стадиями одного общего процесса, ведущего к выравниванию неровностей на земной поверхности, называемого денудацией. Завершающим этапом работы потока будет отложение разрушенного и перенесенного им материала.

Разрушение

В процессе разрушения горных пород проточными водами различают срыв и размывание. Под срывом понимают снос водой вниз по склону рыхлого материала, образовавшегося в результате выветривания породы склона. Количество смываемого

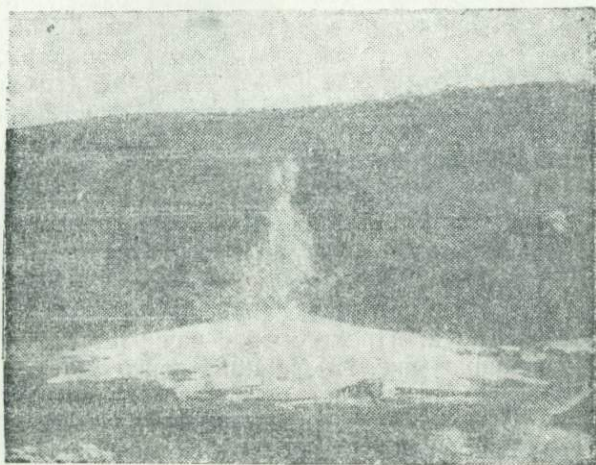


Рис. 82. Зарождающийся овраг.

материала зависит не только от обилия осадков, но и от того, как много выпадает их за один раз. Чем равномернее идут дожди, тем меньше их смывающая деятельность.

Водоупорные глины и массивно-кристаллические изверженные породы подвержены более интенсивному смыванию, чем быстро впитывающие в себя воду известняки и песчаники. Растительный покров предохраняет рыхлую землю от смывания, так что на площадях, покрытых лесом, оно почти не имеет места.

В результате смывания происходит делювиальный процесс сноса материала вниз; местность понижается, рельеф становится положе, а отдельные скалы принимают мягкие очертания. Одновременно смывание ускоряет выветривание горных пород, так как благодаря ему сносится элювий, который, оставаясь на месте, предохранял бы свежую породу от дальнейшего разрушения.

Только по пологому, однообразному, сложенному однородными породами склону, вода может стекать равномерным слоем. Небольшие неровности приводят к образованию отдельных ручейков, стекающих в разработанных ими же каналах. С этого момента очень медленный делювиальный процесс смывания переходит в процесс размывания или эрозионный, который быстрыми темпами разрушает горные породы и изменяет рельеф местности. Чем круче склоны, тем больше кинетическая энергия

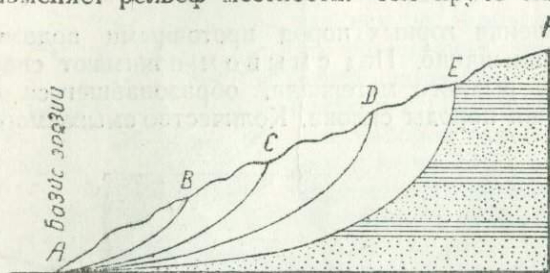


Рис. 83. Изменение продольного профиля оврага при размывании склона:

A — базис эрозии; *ABCDEF* — первоначальный профиль склона; *B, C, D* и *E* — верховья оврага на разных стадиях его развития.

и тем интенсивнее проходит эрозионный процесс. В особенности резко он выражен в районах, сложенных рыхлыми породами, с достаточным количеством атмосферных осадков, выпадающих за небольшой промежуток времени.

Временные потоки. Размывание склона начинается с наи-

более низкой точки у его основания, называемой местным базисом эрозии. Процесс этот начинается с образования рытвины — овражка (рис. 82), нижний конец которой совпадает с базисом эрозии, а верхний располагается в нижней части склона (*B*, на рис. 83). Характерным для дна такой рытвины является то, что у устья (*A*) оно почти горизонтально, а у верховья (*B*) становится очень крутым. Такая рытвина на склоне, как правило, не имеет постоянного водотока, а вода по ней стекает только после дождя, или весной во время таяния снега. Каждый раз сосредоточенный водный поток размывает склон, вынося продукты разрушения в виде ила и песка к его основанию (рис. 82). Одновременно растет рытвина, верховье которой постепенно перемещается в более высокие точки на склоне (*C, D* и *E* на рис. 83), а дно углубляется, принимая все более и более пологий характер у устья (*AB, AC, AD* и *AE* на рис. 83). Устье рытвины (*A*) остается все время в одной точке, так как ниже базиса эрозии размывание не происходит из-за отсутствия необходимого для этого уклона. Ниже кинетическая энергия по-

тока приближается к нудю и поток отлагает вынесенный им размывтый материал. Таким образом, видно, что углубления, возникающие в результате размывания, растут своими верховьями в направлении, обратном направлению течения водного потока, т. е. регрессивно.

Наглядную картину размывающей деятельности проточной воды дают рытвины, размывые в мягких и рыхлых породах, называемые оврагами. Овраги имеют крутые и даже отвесные склоны и бывают одиночные или ветвистые. Одиночные овраги имеют одну вершину, а ветвистые — две или более и, кроме того, могут иметь ряд боковых оврагов, соответствующих

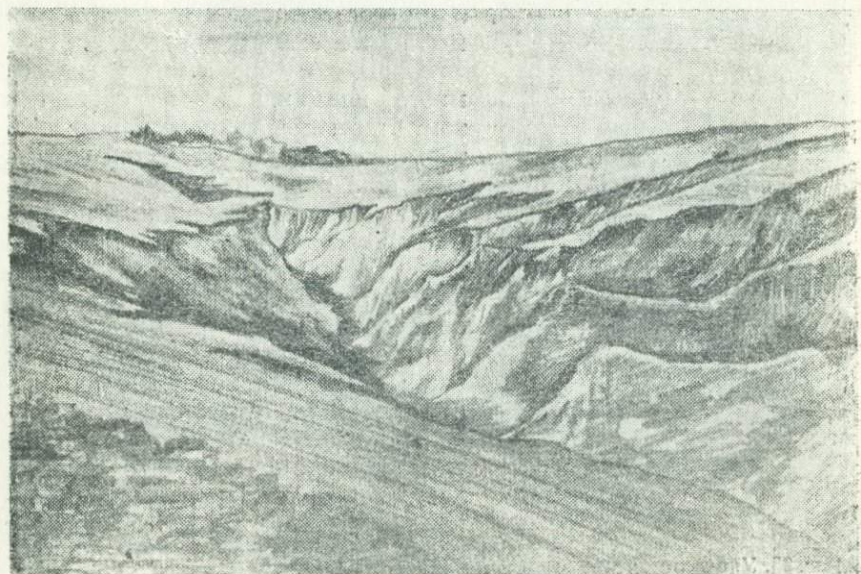


Рис. 84. Растущий овраг в бассейне р. Оки.

притокам реки (рис. 84). Постоянный ручеек по дну оврага наблюдается только в том случае, если овраг вскрыл подземные воды, которые получили таким образом выход на поверхность. При быстром росте оврага склоны его очень круты (в лессах обычно вертикальны) и почти на всем протяжении обнажены, т. е. лишены растительного покрова и доступны для осмотра. Глубина оврагов достигает 10—20 м, а длина до 5—10 км.

Растущие или деятельные овраги очень широко распространены в степной и лесостепной полосе Европейской части СССР между Днепром и Волгой, где они приносят очень большой вред народному хозяйству. Размывая местность, они уничтожают полезные площади полей (рис. 84), огородов, садов и разрушают строения. В то же время они способствуют более быстрому стоку снеговых и дождевых вод, уменьшая тем самым количе-

ство воды, просачивающейся вглубь, чем усиливают губительное значение засух. Последнее усугубляется также тем, что при вскрытии водоносных горизонтов оврагами, уровень подземных вод опускается на глубину, на которой корни растений не в состоянии их достать. Мелкий материал, выносимый в большом количестве оврагами в долины крупных рек, вызывает их обмеление и затрудняет судоходство, а также заносит луга и другие уголья, расположенные в нижней части долин. Особенный вред деятельные овраги наносят путям сообщения, вынуждая переносить существующие дороги с увеличением километража или заставляя строить мосты и укреплять размываемые склоны оврагов.

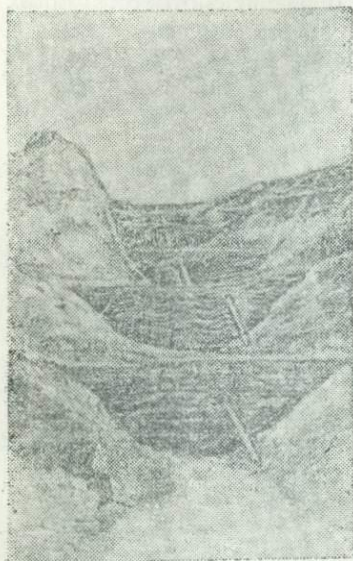


Рис. 85. Укрепление дна оврага плетевыми запрудами.

Борьбе с оврагами уделяется много внимания и она состоит в том, чтобы приостановить рост деятельного оврага, т. е. превратить растущий овраг в остановившийся. Для этой цели щелевидные и кольцевидные рытвины в верховье деятельного оврага засыпают материалом, который пропускал бы через себя воду, но не размывался бы ею, и тем самым защищал бы от размыва горные породы. Применение хвороста, стружек, мятой соломой и навоза дает хорошие результаты, причем навоз менее желателен, так как он вызывает загрязнение воды в реке, в которую впадает овраг. Обнаженные склоны оврагов закрепляют дерном или пересекающимися рядами низкого плетня, в промежутках между которыми сажают легко пускающие корни ветки ивы или пучки травы. Так как в мощном лесу овраги имеют вертикальные стенки, то укрепление их этими способами невозможно. В этом случае требуются большие земляные работы, что экономически выгодным бывает только в случае, когда обвал угрожает крупному инженерному сооружению.

Чтобы прекратить углубление оврага, прибегают к мероприятиям, уменьшающим размывающую деятельность текущей воды. Для этого дно перегораживают низкими плетеными из хвороста (рис. 85) или выложенными из камня без цемента запрудами. В зависимости от уклона продольного профиля оврага, запруды располагают чаще или реже, но так, чтобы после накопления наносов перед ними образовались уступы с небольшими, исключаящими размыв, уклонами. Для избежания размыва дна оврага ниже запруды, его здесь укрепляют камнем или фаши-

ником (вязанные пучки хвороста). Иногда ограничиваются только укреплением верховья оврага с устройством лотка-перепада.

При остановке роста оврага естественным путем, вследствие изменения климата, или искусственным — в результате принятых инженерных мероприятий, склоны его выполаживаются и покрываются растительностью. Такие остановившиеся овраги называются балками (рис. 86); склоны их при соблюдении правил осторожности могут быть использованы под пашню. В случае неумеренной распашки склонов балки с предшествующей вырубкой леса и корчевкой пней, она снова может превратиться в деятельный овраг. Этому может способствовать также пастьба скота, копанье канав и проведение борозд по склону вниз.

В горных районах размывающая деятельность временных потоков, которые в Европе называются муррами, а в Азии — си-



Рис. 86. Балки.

лями, носит катастрофический характер. Муровые и силевые потоки свойственны узким горным долинам с падением в среднем около 0,06. Эти мощные потоки образуются стоком огромного количества воды, накопившейся вследствие сильных ливней, интенсивного таяния снега и льда или в результате прорыва случайной запруды, вызвавшей временное скопление воды. Муры и силы возникают совершенно внезапно и с огромной быстротой несутся по долине, захватывая массу ила, песка, щебня и камня. Они сметают все на своем пути: скот, людей, мосты, поля, сады, целые селения и леса. Разрушающая сила мурового потока, кроме огромной скорости, определяется еще значительной плотностью слагающей его смеси, объемный вес которой часто достигает 1,3—1,5. Плотность некоторых муровых потоков настолько значительна, что огромные камни в них несутся как бы во взвешенном состоянии.

При выходе на равнину скорость мурового потока резко падает и он отлагает в виде конуса огромное количество материала. При этом у самого основания гор отлагается наиболее грубообломочный материал, крупность которого при удалении от

места выхода постепенно уменьшается. Если с гор выходит ряд долин с муровыми потоками, то конусы выноса их сливаются в один сплошной шлейф, протягивающийся вдоль горной цепи. Отложения этих временных горных потоков называются пролювиальными или пролювием. Муры и сили наносят огромный ущерб селениям, расположенным при входе в ущелья, а также путям сообщения, проложенным вдоль подножия горных склонов. Большим разрушениям подвергаются, кроме того, оросительные каналы и каналы гидроэлектростанций, проходящие вдоль горных долин, в которые впадают боковые долины с временными потоками. Борьба с ними очень трудна и сводится, главным образом, к предупредительным мерам, направленным на сохранение лесного и травяного покрова. Инженерные мероприятия для задержания силевых потоков аналогичны применяющимся при укреплении оврагов, т. е. состоят из невысоких каменных запруд на пути потока.

Реки. В отличие от оврагов и горных долин с мурами и силами, реки имеют постоянный водный поток, который непрерывно выполняет свою геологическую работу. Размеры этой работы зависят от скорости течения и количества воды в реке, которое в свою очередь зависит от размеров питающего бассейна и обилия осадков в его районе. Чем меньше площадь водосборного бассейна и чем неравномернее выпадают осадки, тем большим колебаниям подвержено количество воды в реке, т. е. тем более частые и более сильные паводки наблюдаются на ней.

Размывая горные породы, реки образуют сравнительно узкие углубления, называемые долинами. Продольный профиль речной долины, так же как и оврага, становится круче по направлению от устья к верховью. Вследствие этого наибольшую скорость течения река имеет в верховьях и наименьшую в устьевой части, где продольный профиль ее приближается к горизонтальному. Соответственно этому водный поток в верхней части течения реки обладает энергией, достаточной для размыва долины вглубь и переноса разрушенного материала. Ниже по течению он может только переносить этот материал и размывать долину в стороны, а в низовьях уклон долины уже настолько мал, что вода не в состоянии далее переносить продукты своей эрозионной деятельности и отлагает их. Таким образом, схематично реку можно подразделить на три части: верхнее течение, где преобладает глубинная эрозия, среднее течение с преобладающей боковой эрозией и переносом и нижнее течение, характеризующееся отложением. В горных речках, где уклоны на всем протяжении долины весьма значительны, участки, на которых наблюдаются боковая эрозия и отложение, ничтожны по своим размерам или могут совершенно отсутствовать. В условиях же равнинного рельефа, где превышения незначительны, наблюдается обратная картина, т. е. река на большей части своего течения переносит и отлагает, а глубинная эрозия имеет место только у истоков.

Размывая породы в верхнем течении и отлагая в нижнем, река стремится выработать такое падение продольного профиля, при котором в любой точке реки сопротивление движению воды, т. е. трение о бока и дно русла равнялось бы кинетической энергии протекающей воды. Такой продольный профиль реки называется кривой нормального падения. Понятно, что чем больше профиль падения реки отличается от нормального, тем интенсивнее идет размыв в верхнем течении и больше материала отлагается в нижнем.

Глубинная эрозия в верхнем течении реки сопровождается увеличением ее длины. Верховье реки часто представляет собой овраг, который все дальше врезается в водораздельные пространства, стремясь прорезать возвышенность, с которой река берет начало.

Преобладающий глубинный размыв и геологическое строение предопределяют форму поперечного сечения речной долины в верхнем течении. Если долина проложена в мягких породах, то

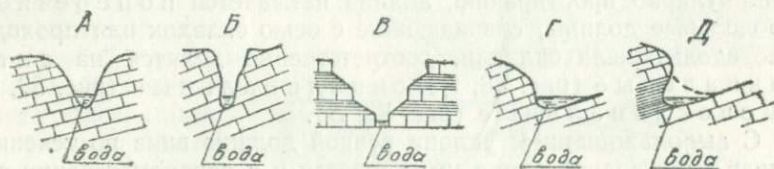


Рис. 87. Зависимость поперечного сечения речной долины от геологического строения, при преобладании глубинной эрозии.

она имеет треугольную форму, напоминающую латинскую букву V (рис. 87, А), в твердых же породах округление верхней части долины происходит медленно и она может принять форму глубокого ущелья с почти вертикальными, а местами даже нависающими склонами (рис. 87, Б), как, например, ущелье Колорадо, которое имеет вертикальные стенки свыше 600 м высотой при ширине ущелья всего только около 100 м. При горизонтальном залегании чередующейся толщи мягких и твердых пород, долины получают ступенчатый характер с чередованием обрывов с пологими участками (рис. 87, В), причем обрывы соответствуют твердым породам, а пологие участки — мягким. В случае моноклиального залегания твердых пород речная долина принимает несимметричную форму: один склон будет совпадать с наслоением пород, а другой будет близок к вертикальному (рис. 87, Г). Если же при моноклиальном залегании будет наблюдаться чередование мягких и твердых слоев, то могут образоваться нависающие склоны (рис. 87, Д). Из приведенных примеров видна тесная зависимость формы поперечного сечения долины реки от характера горных пород и условий их залегания. В зависимости от того, какие породы пересекает река на своем пути, будет меняться и поперечный профиль ее долины, стано-

ваясь узким в местах развития твердых пород и расширяясь на участках, сложенных мягкими породами.

Если направление долины реки совпадает с простиранием пород, то она называется продольной, если же направление долины образует с простиранием пород некоторый угол, то она получает название диагональной долины. Когда долина

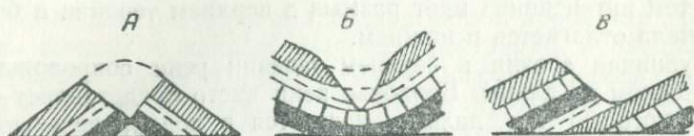


Рис. 88. Типы речных долин в зависимости от формы дислокации.

пересекает породы вкрест простирания, т. е. направление ее перпендикулярно простиранию, долина называется поперечной. Продольные долины, совпадающие с осью складок или проходящие вдоль крыла складки, соответственно делятся на антиклинальные (рис. 88, А), синклинальные (рис. 88, Б) и моноклинальные (рис. 88, В).

С выполаживанием уклона речной долины вниз по течению, живая сила водной струи уменьшается и в среднем течении она

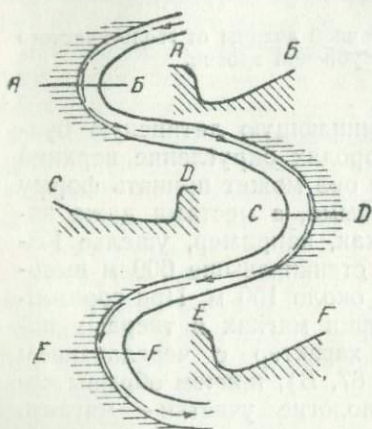


Рис. 89. Схема, показывающая процесс размыва вогнутых берегов реки.

уже не в состоянии размывать породы вглубь. Однако она несет твердый материал, который, ударяясь с берега, истирает слагающие их горные породы и увеличивает разрушающую силу воды. Вследствие неоднородности горных пород и ряда других причин русло, т. е. часть долины, по которой течет вода, всегда бывает в той или иной мере извилистым. Главный удар водной струи сосредоточивается на вогнутом берегу, у которого в силу этого происходит максимальный размыв; берег становится крутым, а русло наиболее глубоким (рис. 89). Из того же рисунка видно, что у выпуклого берега наблюдается обратная картина. В результате непрерывного размыва вогнутых берегов,

излучины реки постепенно становятся больше и принимают вид петель, которые называются м е н д р а м и (рис. 91). Одновременно долина реки по дну расширяется и принимает трапецевидное поперечное сечение (рис. 90 и 91). Ширина дна долины меандрирующей реки часто измеряется километрами и даже

десятками километров. Дно такой долины представляет собой обычно заболоченную равнину, значительные площади которой затопляются во время весенних паводков.

Отдельные меандры в конце концов настолько сближаются, что между ними остается очень узкий перешеек, который промывается во время паводка и река спрямляет русло. После этого петля остается в стороне от главного русла, постепенно наносами отделяется от него и получает название старицы (рис. 92). Вследствие непрерывного заноса старицы во время паводков, от нее остается только серповидное озеро, которое затем превращается в болото. Однако, иногда нецелесообразно ждать прорыва меандры, а следует заблаговременно выпрямлять русло, что увеличивает уклон дна и уменьшает опасность наводнения.

Боковая эрозия рек объясняется не только уменьшением скорости потока при выполаживании продольного профиля реки и неоднородным геологическим строением, но также, по видимому, и вращением Земли. Влияние вращения Земли на боковое отступление рек выражено в особом законе, согласно которому меридиональные реки в северном полушарии перемещаются вправо, а в южном — влево. Это вызывает более сильный размыв правых берегов в северном полушарии и расположение русла рек у основания правого склона долин.

Размыв берегов рек расширяет речные долины и изменяет рельеф водоразделов, что сильно сказывается на геологической деятельности водных потоков. Процесс этот идет часто очень

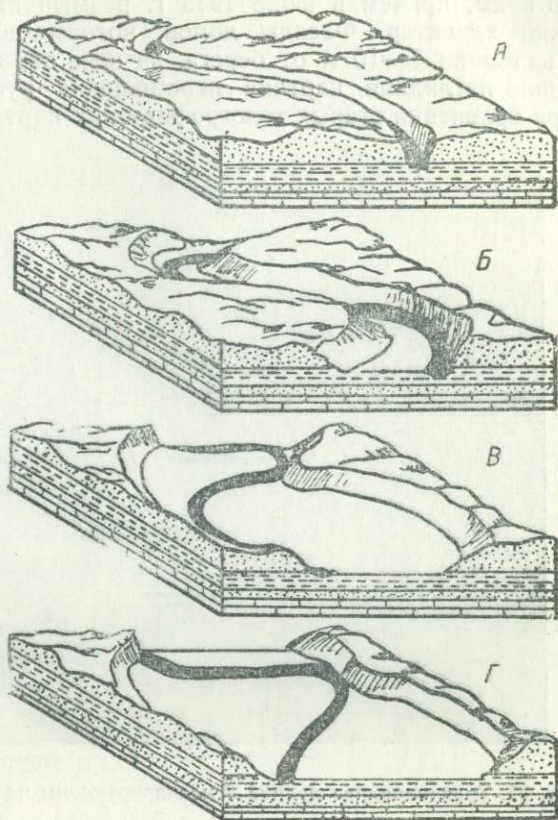


Рис. 90. Схемы, иллюстрирующие постепенный переход V-образной долины в трапециевидную, вследствие боковой эрозии.

интенсивно, причиняя ущерб судоходству, инженерным сооружениям, сельскому хозяйству и населенным центрам. Размыв речных берегов иногда достигает таких больших размеров, что ежегодное смещение русла превышает 0,5 км. Так, например, р. Аму-Дарья у Турткуля за 10 лет переместилась вправо на 6 км, причем в июне 1936 г. размыв принял катастрофический характер. Фасады домов, которые вечером еще были на расстоянии 7—10 м от берега, за ночь обвалились в реку. Особенно наглядная картина перемещения русел рек получается при сравнении старых топографических карт с новыми съемками.



Рис. 91. Трапецевидная долина с меандрирующим по ее дну речным руслом.

Здесь еще раз обращает на себя внимание тот факт, что надежность сооружения зависит не только от прочности горных пород, на которых его возводят, но и от геологических процессов, разрушающих наиболее надежные основания.

Борьба с размывом берегов ведется путем непосредственного укрепления берега или изменением направления и скорости течения реки на размываемом участке. Очень часто эти меры дополняют друг друга и применяются одновременно.

Для защиты отдельных участков берегов устраивают перпендикулярно к берегу по дну реки гряды, называемые бунами. Они имеют своим назначением уменьшить скорость потока у берега и вызвать отложение наносов.

Каждая бун защищает берег на расстояние в 3—7 раз большее ее длины вверх по течению и в 4 раза вниз по течению от

нее. Так как буны создают препятствие потоку, то во время их возведения у внешнего конца проявляется интенсивный размыв дна реки, что сильно затрудняет строительные работы. Особен-

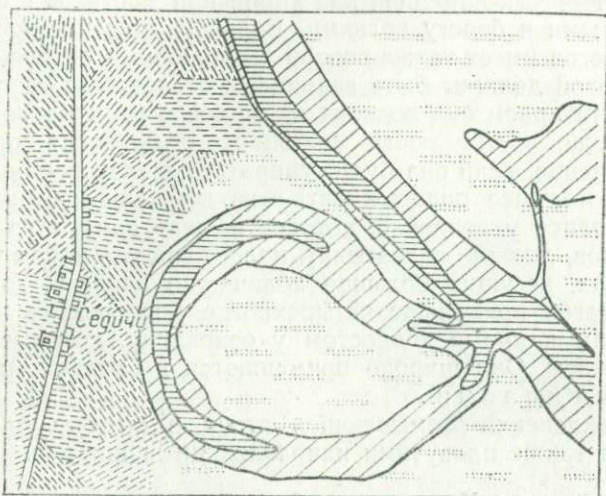


Рис. 92. Меандр, отделяющийся от главного русла р. Днепра, — старица.

ные трудности возникают, если дно сложено иловатыми или песчаными грунтами.

Буны могут быть сделаны из самого разнообразного материала: 1) камня в наброску, 2) фашинных тюфяков, загруженных галькой и камнем, 3) песка или суглинков, плотно закрытых фашинами, или каменной мостовой, 4) двойного ряда кольев с фашинами или хворостом между ними (рис. 93), 5) одного ряда кольев с горизонтальными планками с верховой стороны или плетением из стеблей и ветвей ивы, 6) отдельных деревьев, закрепленных колом на берегу, и т. д.

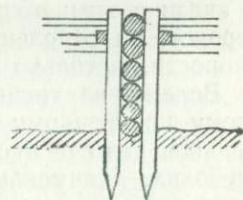


Рис. 93. Поперечный разрез буна из кольев с фашинами или хворостом между ними.

Для отведения размывающей струи от вогнутого берега, вдоль его по плавной кривой можно устраивать также продольную дамбу. Своими концами дамба врезается в берег, отделяя, таким образом, участок реки у подмываемого берега от остального русла. При большой длине продольная дамба может строиться с перерывами, что уменьшает объем работ, но при этом каждый средний участок должен быть связан с берегом поперечной дамбой — траверсом.

Часто непосредственное укрепление берега на размываемом участке бывает более рационально и экономически более выгод-

но, чем устройство бун. В этом случае закрепление производится до паводкового уровня или даже несколько выше его, так, чтобы берег был защищен и от размывающего действия волн. Закрепляют берега каменной или кирпичной мостовой и фашинами, пришитыми к берегу кольями. Большое значение при закреплении берегов имеет также способ дернования и облесения. Все виды мостовой должны быть защищены от подмыва сверху, для чего верхним краем они должны врезаться в землю заподлицо с ней. В то же время любая мостовая только тогда оправдывает свое назначение, если она будет упираться в хорошее подводное основание, могущее поддерживать всю площадь мостовой. Для этого подводное укрепление, которое обычно делают из фашинных тюфяков, должно захватывать полосу ровного дна не уже 5 м.

На реках, несущих большое количество наносов, для укрепления берегов применяют четырехногие бревенчатые копры с загруженным камнями хворостом у основания, которые задерживают наносы. Они широко применяются в Средней Азии, где называются сипами.

Для отклонения размывающей струи в сторону от берега пользуются также пловучими направляющими щитами.

Перенос и обтачивание

В верхнем течении скорость речной воды настолько значительна, что вода не только переносит по всему поперечному сечению русла обломки разрушенных ею пород, но еще продолжает размывать дно, углубляя тем самым долину. В среднем течении скорости заметно меньше (стр. 142 и 144) и на геологической деятельности реки начинают отражаться местные изменения скорости, обусловленные трением потока о дно и стенки русла. В связи с этим в среднем течении реки, где хотя и преобладает перенос, на отдельных участках происходит размыв, а местами скорости настолько малы, что наблюдается отложение.

Вследствие трения, скорость течения реки не одинакова по всему поперечному сечению русла. Вблизи берегов и дна она меньше, нежели в середине, а в мелких местах меньше, чем в глубоких. Наименьшая скорость находится у дна, а наибольшая — несколько ниже поверхности воды над линией, соединяющей самые глубокие точки русла и именуемой фарватером. У вогнутых берегов скорость на поворотах больше, чем у выпуклых. Это делает возможным одновременно наблюдать на одном и том же поперечном сечении: размыв у вогнутого берега, перенос среди реки и отложение у выпуклого берега.

Средняя скорость воды, помноженная на площадь живого сечения, дает объем воды, проходящей в секунду, или расход реки.

С увеличением расхода реки кинетическая энергия потока сильно возрастает [формула (6) на стр. 136], так как, с одной стороны, увеличивается масса, а с другой — скорость вследствие уменьшения трения о берега и дно на единицу объема воды.

Этим объясняется то, что в паводок реки часто производят большие разрушения там, где в межень они отлагают.

Если река на своем пути встречается различные по размываемости породы, т. е. если она пересекает свиту чередующихся твердых и мягких пород, то на месте развития твердых пород образуются суженные участки с более крутыми падениями, а в местах, сложенных мягкими породами, наблюдаются расширения с пологим дном, называемые плесами. Так как, независимо от площади живого сечения реки, расход ее на двух соседних поперечных сечениях в каждый момент практически одинаков, то в каждую единицу времени через поперечные сечения с разными площадями проходит одинаковое количество воды. Это возможно только при том условии, что в поперечных сечениях с меньшими площадями скорости больше, чем в поперечных сечениях с большими площадями. В результате этого на суженных участках скорость больше и здесь может происходить даже размыв, в то время как на плесах наблюдается только перенос или даже отложение (рис. 94).

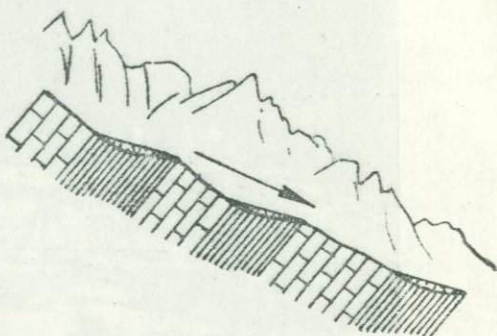


Рис. 94. Размыв на суженных участках и отложение на плесах.

Суженные участки всегда гораздо мельче плесов и дно их часто усеяно большими камнями, которые в межень выходят из-под воды (рис. 95). Такие места называются порогами и на судоходных реках являются причиной аварий, связанных с человеческими жертвами и материальными убытками. Иногда дно реки образует вертикальные уступы, называемые водопадами, с которых вода падает отвесно. Обычно водопады состоят из ряда небольших, следующих друг за другом, уступов. Одним из крупнейших водопадов в СССР является водопад Кивач в Карело-Финской ССР. Он находится на р. Суне на северо-запад от города Петрозаводска, где зажатая в ущелье из диоритовых пород река образует почти отвесный уступ в 10,7 м высотой. На р. Суне есть еще два водопада: Пор-порог, высотой в 16,9 м и Гирвас — 12,2 м. Иногда отдельные уступы достигают огромных размеров, как, например, водопад Виктория на р. Замбези в Африке, где вода низвергается с высоты 133 м, или Ниагара в Америке, высотой в 110 м (рис. 96). Из рисунка видно, что бровка уступа сложена горизонтально залегающими твердыми известняками, которые подстилает мощная толща мягких сланцев.

Перенос материала реками совершается или влечением и

перекатыванием по дну (глыбы, галька и крупный песок), или во взвешенном состоянии (ил и песок), или в растворенном виде (различные соли). Перенос в растворенном виде играет небольшую роль в общей массе переносимого материала. Он имеет определенное значение только в местах, где река прорезает легко растворимые породы, как каменная соль, гипс и известняк, или получает воду из сильно минерализованных родников. Глав-

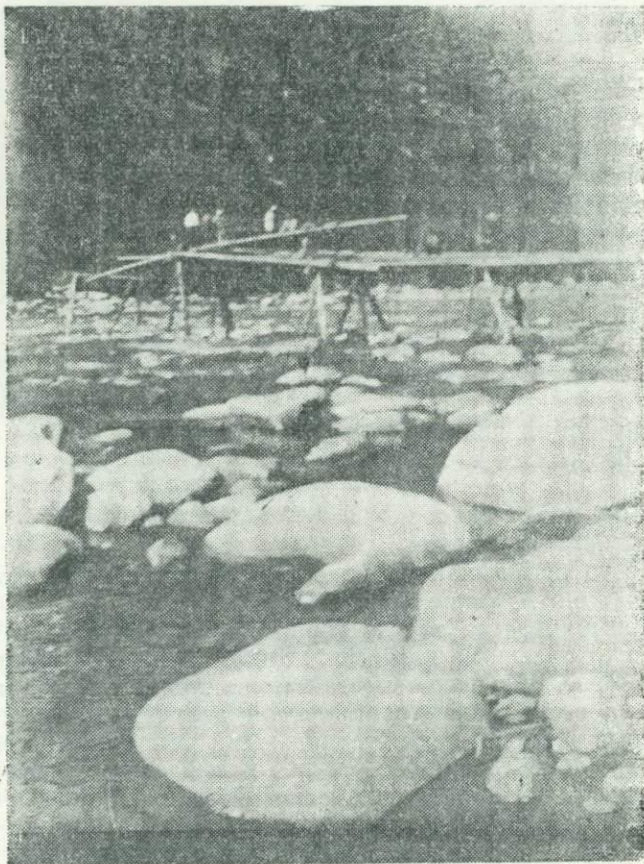


Рис. 95. Большие пороги на р. Убе (Алтай).

ное значение имеет материал, переносимый в твердом виде, количество которого для одной и той же реки меняется в течение года, вследствие сезонных изменений скорости воды и расхода реки.

Перенос галек перекатыванием по дну зависит от их величины и веса. При небольшом увеличении скорости сильно возрастает вес перемещаемых потоком отдельных камней, так как согласно закону Эри

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{v_1^6}{v_2^6}, \quad (7)$$

т. е. вес переносимых влечением по дну галек прямо пропорционален шестой степени скорости. Следовательно, если скорость увеличивается только в 2 раза, вес отдельных галек возрастает в 2^6 , т. е. в 64 раза.

Для приведения в движение наносов разной крупности зерна нужны приблизительно следующие скорости в м/сек:

песок	0,28
гравий	0,40
галька около 5 см в диаметре	1,62
камни объемом около 500 м^3	11,69

Перекачивание может происходить не только отдельными зернами, но и сплошным потоком твердого материала. В горных реках и ручьях с большим падением мощность каменного потока по дну достигает в половодье до 3 м. При этом на берегу слышен своеобразный грохот от непрерывных ударов камней друг о друга, который нарушает равномерный шум текущей с большой скоростью воды. Так как вниз по течению скорость воды уменьшается, то, как правило, чем ниже по течению, тем менее крупный материал несет река.

Более мелкий материал, как песок и ил, переносится водой во взвешенном состоянии, делая ее часто совершенно непрозрачной. С уменьшением уклонов и скоростей уменьшается размер частиц, переносимых проточной водой, и реки с такими незначительными уклонами, как 5—15 см на 1 км, несут только очень мелкую муть, которая еще не успела осесть.

Количество валунов, галек, гравия, песка, пыли и глинистых частиц, переносимое рекой в секунду, называется твердым расходом, а переносимое в год — твердым годовым расходом. Размер его имеет большое значение при устройстве водохранилищ, гидросиловых сооружений и оросительных каналов.

Переносимый речной водой твердый материал увеличивает ее разрушительную работу. Непрерывные удары гальки и песка быстро разрушают сложенные мягкими породами берега. На твердые массивные скалы песок действует как наждачный порошок, постепенно истирая, обтачивая и шлифуя их. Особенно большое разрушение получается при вертикальном падении воды. Низвергаясь с высоты, она приводит во вращательное движение облом-

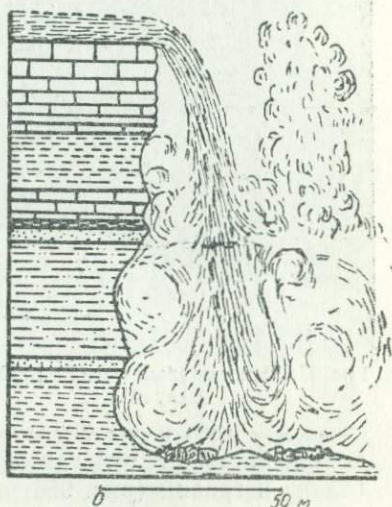


Рис. 96. Геологический разрез водопада Ниагара.

ки скал, гальку и песок и сверлит ими каменное дно. При этом часто образуются углубления больших размеров, называемые исполиновыми котлами (рис. 97).



Рис. 97. Исполиновый котел на р. Убе (Алтай).

Отложение

Созидательная работа проточных вод выражается в отложении переносимого ими обломочного материала. Процесс отложения происходит по всей длине реки, но главным образом в нижнем течении и в устье, где прекращается течение. Одновременно с уменьшением скорости потока от верховья к устью уменьшается и размер частиц речных наносов. В верховья отлагаются крупные камни, ниже по течению преобладает галька, затем гравий и песок, а в низовьях скапливаются мелкий песок и ил. Различные местные и временные изменения скоростей вносят отклонения от этого общего закономерного распределения речных отложений. Так, например, на участках с крутым

падением могут отлагаться только крупные каменные глыбы, галька и гравий (рис. 95), в то время как несколько выше или ниже по течению на плесах происходит накопление мелкого песка и даже ила.

При впадении притоков происходит уменьшение скорости струй воды, вследствие чего переносимые частицы отлагаются в русле магистральной реки несколько ниже устья притока. В результате этого образуются отмели, которые постепенно отклоняют русло реки к противоположному берегу, вызывая извилины. У выпуклых берегов, где скорости течения заметно меньше средней скорости, также происходит отложение наносов. На всем протяжении реки в отдельных местах по различным причинам происходит уменьшение скоростей течения. В таких местах образуются вначале отмели, которые постепенно превращаются в острова, кроме того у берегов возникают полуострова в виде кос треугольной формы, обращенных вершиной в сто-

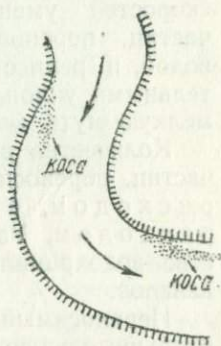


Рис. 98. Образование кос у выпуклого берега.

рону течения реки (рис. 98). Формирование их может происходить в сравнительно короткий промежуток времени. Так, например, коса на Волге против Горького в 1,5 км длиной и 150 м шириной образовалась примерно за 30 лет, а берег ниже Сормова переместился за 100 лет на 600 м. Этот процесс быстрого увеличения выпуклого берега реки еще больше ускоряет образование меандр.

Наносные мели, острова и косы в большинстве случаев не остаются на одном месте, так как все время происходит размыв их с верховой стороны и отложение с низовой. Особенно интенсивно этот процесс выражен во время паводков, когда острова и отмели перемещаются вниз по течению на десятки и даже сотни метров. Такие перемещения широко развиты на Волге, а на Дунае у Вены некоторые из островов передвигаются со скоростью до 200 м в год.

В реках, протекающих в равнинных местностях и имеющих небольшие скорости течения, на дне и на затопляемой части

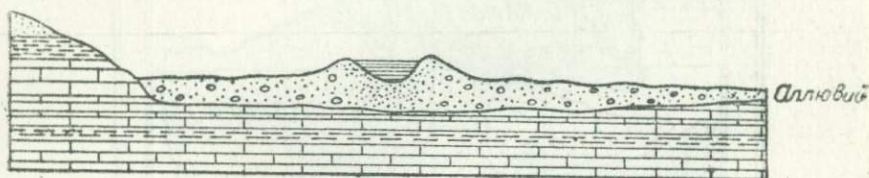


Рис. 93. Поперечный разрез через реку, текущую в отложенных ею берегах.

равнины происходит в результате паводка отложение наносов. Это приводит к постепенному повышению дна русла и берегов. В конце концов река течет среди образованных ею же дамб, возвышающихся над прилегающей местностью (рис. 99). В случае прорыва берега, река устремляется на равнину, принося разрушительные наводнения. Наблюдения за устойчивостью естественных дамб, предупреждение их прорыва и устройство искусственных плотин являются одной из трудных и ответственных инженерных задач. К крупным рекам этого типа в СССР относятся Терек и Кура, а за границей — р. По в Италии и р. Миссисипи в Америке.

Большинство рек изливают свои воды в моря и озера и только очень немногие иссякают на своем пути, теряясь в песках пустынь. Все, что река не успевает отложить во время течения, осаждается у устья, где в виде конуса накапливается большое количество наносного материала. Эти отложения постепенно заполняют прилегающую к устью реки часть моря или озера и поднимаются выше поверхности воды. В результате получают сложенные речными наносами новые участки суши, имеющие треугольную форму и напоминающие греческую букву Δ , почему их стали называть дельтами. Река при этом обычно

разветвляется на ряд рукавов, разделенных островами, и все дальше выдвигается в море (рис. 100). При этом дельта все больше разрастается вширь и захватывает площади в сотни и даже тысячи квадратных километров (дельта Волги 12 000 км²). Иногда дельты нескольких рек сливаются вместе, образуя сплошной пояс дельтовых отложений, который тянется вдоль берега на сотни километров.

Скорость увеличения дельты прежде всего зависит от количества вынесенного рекой материала, который для некоторых

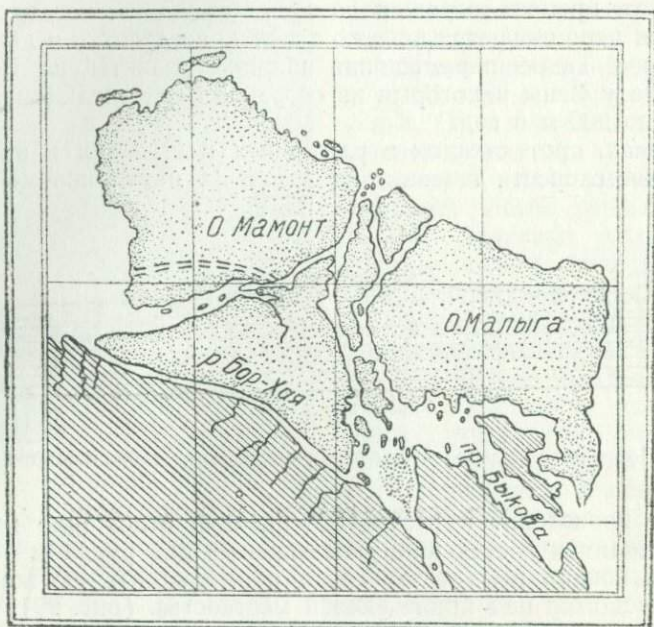


Рис. 100. Дельта р. Лены.

рек достигает огромных размеров. Так, например, р. Аму-Дарья проносит в год до 45 миллиардов куб. метров наносов, а р. Инд около 166 миллионов куб. метров. К быстро растущим принадлежат дельты Тигра и Ефрата, которые за 60 лет выдвинулись на 3,2 км, а за 2500 лет на 64,4 км, т. е. увеличиваются со средней скоростью около 54 м в год. Еще быстрее растет дельта р. Куры, которая за 90 лет увеличилась на 27 км, т. е. около 300 м в год. В результате быстрого роста дельт приморские портовые города оказываются расположенными далеко от морского берега и теряют свое экономическое значение. Так, город Адрия, который во времена Римской империи находился на берегу Адриатического залива, вследствие увеличения дельты р. По отстоит теперь на 22 км от моря.

Кроме большого количества наносов, выносимых реками, быстрому росту дельт способствуют: небольшая глубина моря или озера у устья реки, отсутствие приливов и отливов, а также морских течений и общее эпейрогеническое поднятие морского берега. В противном случае создаются условия, препятствующие образованию дельт, благодаря чему около половины больших рек вместо дельт имеют воронкообразные устья, называемые эстуариями.

Все большие дельты представляют низменные равнины, незаметно сливающиеся с морем, от которого их иногда отделяют цепи песчаных дюн. Вследствие разливов реки, дельтовые низменности периодически затапливаются. Это делает почву их особенно плодородной и с древних времен обуславливает густое население в районе дельт, например, в дельтах Нила и Ганга.

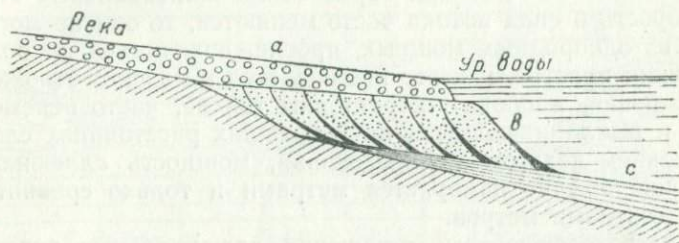


Рис. 101. Продольный разрез дельты.

Так же, как и по всему течению реки, при образовании дельты происходит естественная сортировка отлагаемого рекой материала. У устья отлагаются горизонтально-слоистые более крупные наносы надводной равнины (рис. 101, *a*), далее — более мелкие отложения склона, которые, следуя крутой части дна, образуют всегда наклонные в сторону моря слои (рис. 101, *b*), и, наконец, оседает самый тонкий ил, слагающий нижние отложения дельты (рис. 101, *c*). Из рисунка видно, что в процессе роста дельты отложения *b* постепенно перекрывают *c* и в свою очередь перекрываются осадками *a*. Мощность дельтовых отложений зависит от глубины бассейна, в котором они образуются, и колеблется в широких пределах, от нескольких метров до сотен метров.

На некотором расстоянии от устья каждой реки наблюдаются идущие поперек реки подводные мели, называемые барями. Бары образуются из выносимого рекой материала в местах, имеющих приливы и отливы. Песчаные валы баров запирают вход в реки, что создает большие преграды для судоходства. Необходимые для прохода судов глубины поддерживаются путем землечерпания, причем на участках отложения наносов отрываются прорезы (каналы). Во многих случаях увеличение глубины можно получить путем размыва дна водным потоком самой реки. Для этой цели возводят искусственные сооружения (полузапруды, дамбы и пр.), которые, уменьшая площадь живого сечения реки, увеличивают скорость течения. В результате происходит

размыв отложившихся наносов и прекращается дальнейшее обмеление фарватера.

Если рукава дельты направлены против господствующих ветров и отсутствует боковое течение, то улучшение фарватера может оказаться практически неосуществимым. В этом случае от рукавов дельты роют каналы, придавая им такие направления, чтобы они были вне влияния неблагоприятных ветров и течений.

Бары иногда выступают над поверхностью воды, создавая естественную плотину, поверхность которой под влиянием ветров покрывается дюнами. Таким образом, возникают прибрежные озера, называемые ильменями.

Все породы, образованные отложением наносов проточных вод, называются аллювиальными отложениями или аллювием. Так как при образовании аллювиальных отложений скорость и сила потока часто меняются, то они не могут состоять из однородных мощных, прослеживающихся на большие расстояния пластов, как это наблюдается в морских отложениях. Для аллювия, наоборот, характерны тонкие, часто перемежающиеся и выклинивающиеся на небольших расстояниях слои. За исключением дельтовых образований, мощность аллювиальных отложений обычно измеряется метрами и только сравнительно редко десятками метров.

В петрографическом отношении аллювиальные отложения отличаются большим разнообразием, но главным образом среди них преобладают пески, глины, суглинки, галечники и торф. Аллювиальные пески бывают белого, серого или бледножелтого цвета. Они обладают хорошей водопроницаемостью и только в редких случаях бывают сцементированы окисью железа, превращаясь при этом в железистый песчаник. Глины встречаются серого и шоколадного или кофейного цвета. Окраска первой зависит от большого количества органических веществ, которыми она переполнена, а вторая встречается только в долинах крупных рек и образовалась видимо в результате отложения ила во время паводков. Галечники залегают обычно в виде очень быстро выклинивающихся небольших линз и пластов. Торф образуется в результате зарастания стариц и является обычным спутником прочих аллювиальных отложений.

Связь геологической деятельности текучих вод с эпейрогеническими и орогеническими движениями литосферы

На своем пути от самых высоких точек рельефа до базиса эрозии текучие воды проделывают большую работу. Они разрушают горные породы, переносят продукты разрушения и отлагают их в понижениях континентов, в морях и озерах. Эта непрерывная длительная работа проточных вод коренным образом изменяет рельеф местности. Созданный орогеническими и эпейрогеническими процессами рельеф на первых этапах своего су-

ществования находится в стадии юности. Он мало пересеченный, но превышения над базисом эрозии (уровнем моря) измеряются километрами. Это обуславливает резко отличающийся от нормального, крутой продольный профиль еще редких речных долин, большие скорости водных потоков и интенсивную глубинную эрозию (рис. 102, А).

С течением времени гидрографическая сеть становится гуще, речные долины не только углубляются, но и расширяются, так как с уменьшением абсолютных отметок водоразделов падения рек становятся меньше, а боковая эрозия начинает преобладать над глубиной. К этому времени рельеф местности носит пересеченный характер, но общие превышения над базисом эрозии значительно уменьшаются (рис. 102, Б). Только горы из наибо-



Рис. 102. Денудационная деятельность проточных вод.

лее крепких пород мало уменьшились в высоте. Рельеф достигает зрелого возраста.

В дальнейшем превышение континента над базисом эрозии все уменьшается, а продольный профиль речных долин все больше и больше приближается к нормальному. Реки сильно меандрируют, расширяя все больше и больше свои долины. В конце концов от водоразделов между отдельными речными долинами остаются только отдельные небольшие холмы из крепких горных пород. Рельеф достигает старческого возраста и принимает характер однообразной равнины — низменности с незначительными абсолютными отметками (рис. 102, В). Это — так называемый пенеплен. Все превышения над уровнем моря, которые были созданы эндогенными силами, снесены главным агентом экзогенных сил — текучими водами. В этой работе им помогали и другие менее мощные агенты: ветер, непроточные и подземные воды.

Однако редко экзогенным силам удается одержать полную победу над эндогенными и превратить целые континенты в унылый, однообразный пенеплен. Часто, когда рельеф и гидрографическая сеть достигают зрелого или даже старческого возраста, эпейрогенические движения возобновляются, и морские побережья начинают подниматься. Как следствие, базис эрозии

опускается из точки *a* в точку *б* (рис. 103), продольный профиль отклоняется от нормального и реки начинают углублять свои долины до уровня нового базиса; в результате продольный

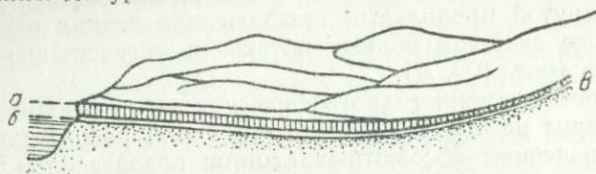


Рис. 103. Изменение продольного профиля дна речной долины в результате омолаживания, вызванного эпейрогеническим поднятием устья реки:

ав — продольный профиль долины до начала поднятия,
бв — продольный профиль долины применительно к понизившемуся базису эрозии *б*.

профиль дна долины из положения *ав* перемещается в *бв* (рис. 103). Следовательно, в широком дне древней долины *авв*

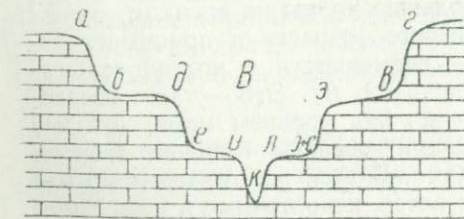
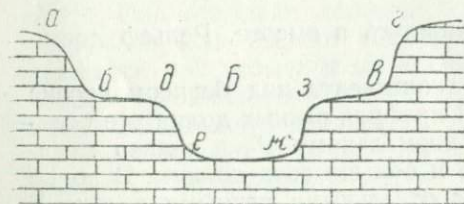
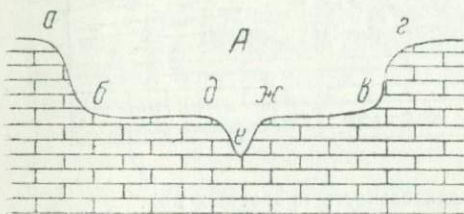


Рис. 104. Образование продольных коренных террас.

образуется новая долина *дежз* (рис. 104, А). В дальнейшем, вследствие проявления боковой эрозии, долина *дежз* тоже расширится и примет в поперечном сечении форму *дежзз*, а вся долина примет очертание *абдежзвг* (рис. 104, Б). Таким образом на склонах долины образуются уступы *бд* и *зв*, которые представляют остатки дна древней долины *аввг*. Эти уступы сложены коренными породами, в которых река углубила свою долину, и прослеживаются вдоль долины на уровне дна древней долины *ав* (рис. 103). Эти уступы называются продольными коренными террасами. Если произойдет новое понижение базиса эрозии, то река снова начнет углублять свою долину, а в дне долины *дежз* вымывается новая долина *икл* и новые продольные коренные террасы *еи* и *лж* (рис.

104, В). Так образуется иногда по три и более коренных террас, которые можно наблюдать в долинах наших рек.

Если после того, как река выработает долину *абвг* (рис. 105, А), вследствие опускания континента произойдет поднятие базиса эрозии из точки *б* в точку *а* (рис. 106), то долина реки будет подпружена и начнет быстро заполняться аллювиальными отложениями. В конце концов она примет поперечное сечение *адег* (рис. 105, А). Этот процесс

заполнения древней долины *абвг* аллювиальными отложениями будет продолжаться до тех пор, пока не наступит понижение базиса эрозии, в результате которого произойдет омолаживание рельефа и река начнет размывать отложенные ею же горные породы. Если понижение базиса эрозии будет время от времени останавливаться,

то в эти интервалы времени боковая эрозия будет расширять долину. При новом оживлении эпейрогенических процессов она снова уступит место глубинной эрозии, и в конце концов образуется ряд расположенных друг над другом террас (рис. 105, Б). Они, так же как и коренные террасы, прослеживаются вдоль долины реки, но сложены не коренными породами, а аллювиальными

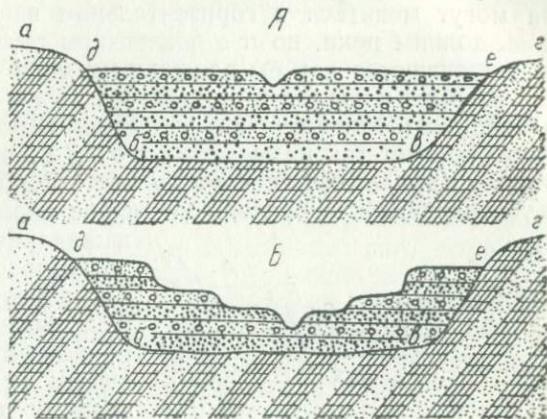


Рис. 105. Образование наложенных аллювиальных террас.

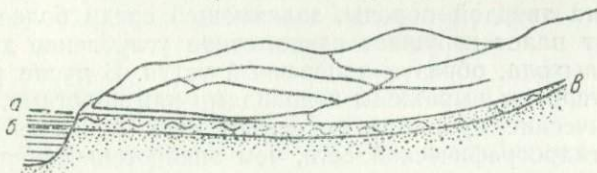


Рис. 106. Заполнение речной долины аллювиальными отложениями при поднятии базиса эрозии из точки *б* в точку *а*:

бв — продольный профиль долины до поднятия базиса эрозии, *ав* — продольный профиль долины после поднятия базиса эрозии.

отложениями и называются наложенными аллювиальными террасами. Число террас соответствует количеству остановок опускания базиса эрозии.

Если после заполнения дна долины аллювиальными отложениями, понижение базиса эрозии будет настолько значительным, что река промоет отложенные ею образования до коренного

ложа, то по бокам долины останутся террасы А (рис. 107). При аналогичном повторении цикла опускания и поднятия базиса эрозии, образуются террасы Б и затем — террасы В (рис. 107). Все эти террасы образовались из наносов, отложившихся в разное время, а следовательно слагающие их аллювиальные отложения могут меняться в горизонтальном направлении не только вдоль долины реки, но и в поперечном сечении (рис. 107). Террасы получают как бы вложенными друг в друга и называются вложенными аллювиальными террасами. Заливаемая в паводки часть дна долины, по которому протекает река, образует так называемые пойменные террасы или пойму (прилегающая к руслу часть террасы В на рис. 107). Обуславливающие образование террас аналогичные случаи омо-

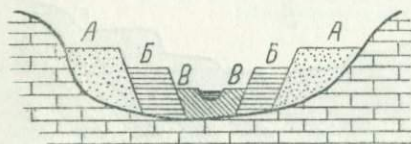


Рис. 107. Вложенные террасы.

лаживания или преждевременной старости континента, какие наблюдаются при понижении и повышении базиса эрозии, происходят также при повышении и понижении водораздельных пространств. В последнем случае продольные террасы более резко выражены в верх-

нем течении реки, так как наблюдающиеся здесь максимальные изменения в отметках рельефа к устью постепенно затухают.

Кроме продольных террас, в долинах рек наблюдаются еще поперечные террасы. Они представляют собой уступы, которые проходят поперек долины, а следовательно могут быть видны не на поперечном, а на продольном профиле долины, так как придают ему ступенчатый характер. Образование поперечных террас связано обыкновенно с выходом поперек речной долины пласта твердой породы, залегающей среди более мягких пород. Этот пласт нарушает равномерное углубление долины в месте его выхода, образуя поперечный уступ. В русле реки поперечные террасы выражены водопадами или порогами.

Орогенические процессы оказывают еще большее влияние на жизнь гидрографической сети, чем эпейрогенические. Складки, возникающие со скоростью, при которой река не успевает прорезать их, разделяют реку на части и заставляют вновь образовавшиеся реки приспособлять свои долины к новым тектоническим элементам рельефа.

В долинах рек возводятся большое число самых разнообразных гидротехнических сооружений. Совершенно очевидно, что прежде чем говорить о возможности укрепления берегов, проведения каналов, сооружений плотин, шлюзов, мостов и т. п., необходимо знать геологические процессы, какие в настоящее время происходят на данном участке долины. Для того, чтобы правильно выбрать место и проектировать конструкции сооружений, нужно, кроме того, знать, какую мощность имеют аллювиальные отложения на тальвеге долины и какими породами они

сложены. Необходимо также выяснить геологические условия на склонах долины и установить строение террас, развитых вдоль них. Одним словом, необходимо иметь ряд точных поперечных и продольных геологических разрезов, которые давали бы совершенно ясное представление о строении аллювиальных наносов долины и коренных пород, подстилающих их.

Глава X

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОРЕЙ

Общие сведения и определения

Вода морей и океанов занимает три четверти земной поверхности и является мощным агентом экзогенных сил, геологическая деятельность которого огромна. Подобно текучим водам континентов, деятельность моря выражается в разрушении горных пород, переносе обломков и отложении новых горных пород. Последний процесс играет главную роль.

По глубине моря и океаны делятся на три зоны.

1. Шельф с глубинами от 0 до 200—400 м. Шельф, в виде узкой полосы в 60—70 км шириной, окаймляет материки и архи-



Рис. 108. Схема расположения отдельных частей моря по отношению к континентам.

елаги островов. Он очень полого спускается в сторону моря и занимает всего 8,4% от всей площади морского дна (рис. 108).

2. Континентальный склон с глубинами от 200 до 2000—3000 м, который полосой в несколько десятков, а иногда и сотен километров окаймляет шельф. Континентальный склон занимает 19,2% морского дна (рис. 108).

3. Ложе мирового океана или абиссальная зона имеет глубины от 2000 до 10 000 м, почти горизонтальную поверхность и занимает 72,4% от морского дна, т. е. около 54% всей земной поверхности (рис. 108).

Геологические процессы в каждой из этих зон имеют свои индивидуальные черты.

Геологическая деятельность моря обуславливается движением воды, ее физико-химическими свойствами и распределением морских организмов, которое, в свою очередь, зависит от глубины моря и свойств воды.

Морская вода содержит в растворе 3,4—4,0‰ различных солей, среди которых хлористые соли составляют 89,45‰, сульфаты — 10,34‰, а карбонаты и все остальные — всего только 0,21‰. В зависимости от солености, удельный вес морской воды равен 1,025—1,029. Максимальной солености морская вода достигает на глубине 200 м.

Дневной свет проникает в воду только на глубину 200 м, а глубже царствует вечная тьма, что имеет первостепенное влияние на распределение морской фауны.

Механическая деятельность морской воды обусловлена, главным образом, ее движением, которое подразделяется на волны, приливы и отливы и морские течения.

Волны на поверхности моря возникают от длительного действия ветра. Из разреза волны (рис. 109) видно, что высота

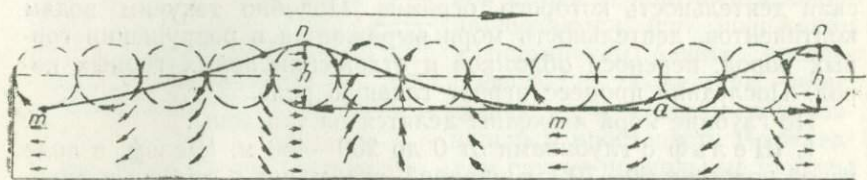


Рис. 109. Колебательные движения частиц воды.

волны h равна превышению самой высокой точки выпуклости n , называемой гребнем, над самой низкой точкой вогнутости m , называемой ложбиной. Расстояние между двумя соседними гребнями или ложбинами называется длиной волны. Высота волн в глубоких морях и океанах бывает до 10—20 м, в озерах до 3—4 м, а на реках от 10 до 100 см. В среднем высота волны в 15 раз меньше ее длины.

Во время волнения колебательное движение частиц воды затухает по мере удаления от поверхности. Эффективный размыв песчаных отложений прекращается на глубине, равной половине длины волны, а ниже колебательное движение частиц воды затухает. На глубинах больше 100 м оно может наблюдаться только в морях и океанах, при очень сильных бурях. На поверхности воды гребни и ложбины волн расположены перпендикулярно направлению ветра; они могут распространяться вперед со скоростью 6—10 м/сек., т. е. со скоростью пассажирского поезда. Однако это есть продвижение волн, а не частиц воды, которые все время остаются на одном месте. Это подтверждается тем, что плавающий предмет не передвигается вместе с волнами, а остается на месте, совершая колебательные движения вместе с частицами воды. Если предмет и продвигается несколько вперед, то только под воздействием давления ветра непосредственно на его поверхность.

На мелких местах, где глубины воды менее половины длины волны, а особенно около мелких берегов, происходит дефор-

мация волны, т. е. образуются разбитые волны, в которых колебательные движения частиц воды переходят в поступательные движения с большими скоростями. Такие разбитые волны производят размыв дна на мелях и разрушение крутых берегов.

Волнение, возникшее вследствие действия ветра в одном месте, может распространяться в районы, где ветра не было, и называется в этом случае мертвой зыбью.

Волны на поверхности морей образуются также во время землетрясения и достигают при этом часто огромных размеров.

Приливы и отливы вызываются закономерными повышениями и опусканиями уровня моря, происходящими два раза в течение лунных суток, т. е. в течение 24 час. 50 мин. Повышения воды в морях и океанах вызываются притяжением Луны и Солнца, и наблюдаются при прохождении Луны через меридиан данного места. Высота приливов неодинакова в разных местах Земли; в открытом океане она не превосходит 2,5 м, а у берегов континентов доходит до 21 м. Приливы и отливы имеют большое значение для мореплавания, поэтому для морских и устьевых портов составляют таблицы времени их наступления за несколько лет вперед. В последнее время энергию приливов и отливов начали использовать для получения электроэнергии посредством соответствующих турбин малого напора, работающих попеременно при поднятии и при понижении уровня воды.

Морские течения подразделяются на местные и океанические.

Местные течения образуются:

1. В результате приливов и отливов; они направлены то к берегу, то от него.
2. В результате прибоя, когда после столкновения воды с берегом образуется по дну встречное нижнее течение от берега к морю. При этом, если направление ветра перпендикулярно к береговой линии, то и встречное течение также перпендикулярно к нему, если же волны набегают на берег под острым углом, то возникнет два течения: встречное донное течение, перпендикулярное к берегу, и береговое течение — вдоль береговой линии (рис. 110).
3. В результате резкой разницы в солености воды в двух бассейнах, соединенных глубоким проливом, образуется нижнее течение из моря с высшей соленостью и верхнее течение в обратном направлении. Эти течения отличаются постоянством. Так например, в Гибралтаре верхнее течение идет из океана в Средиземное море, вода которого имеет большую соленость.
4. При впадении рек в моря.



Рис. 110. Схема образования встречного нижнего и берегового течений.

Постоянные океанические течения вызываются ветрами, дующими постоянно в одном направлении, и разностью температур в различных частях океанов. Эти течения прослеживаются на огромных расстояниях и оказывают сильное влияние на климат прилежащих материков. Примером может служить теплое течение Гольфстрём, смягчающее климат Западной Европы.

Механическая деятельность моря

Ветровые и приливные волны, достигая берега, в зависимости от ряда факторов могут производить разрушительную или



Рис. 111. Углубление в основании крутого берега в результате разрушения прибоем.

созидательную работу, или ту и другую одновременно. Набегая на крутой берег, разбитые волны с силой ударяются о него, выбрасывая при этом воду на большую высоту. Это явление называется прибоем, сила отдельных ударов которого в открытых морях достигает 3 кг/см^2 . Чем круче берег и чем глубже море у него, тем сильнее эффект удара разбитой волны, причем наибольшего значения динамическое действие ее достигает на уровне стояния воды в тихую погоду. Так как удары волн во время прибоя ритмически повторяются, то разрушительная сила их принимает огромные размеры.

Набегая на берег, волны увлекают с собой камни, гальку и песок, которые, разбивая и обтачивая даже самые твердые скалы, еще более увеличивают разрушительную работу прибоя. В результате такого разрушительного действия ударов волн, на высоте постоянного прибоя образуется углубление или жолоб (рис. 111). Одновременно в берегах часто возникают каверны и пещеры больших размеров.

При увеличении прибойного жолоба нависающие скалы обваливаются и крутой берег постепенно отступает все дальше и дальше в сторону материка. Скорость разрушения зависит от твердости пород и условий их залегания. Максимальное сопротивление прибою оказывают мелкозернистые изверженные по-

роды; наличие трещин ускоряет их разрушение. Пористые и мягкие породы разрушаются очень быстро. В результате этого берег, сложенный из разнородных по твердости пород, получает сильно изрезанное очертание. На месте твердых пород образуются мысы и выступающие скалы, которые с течением времени отделяются от материка и образуют небольшие прибрежные острова — останцы. При дальнейшем размыве эти острова могут превратиться в подводные скалы, шхеры и рифы, столь опасные для мореплавания.

При горизонтальном залегании пород разрушение берега будет происходить тем быстрее, чем больше разница в твердости отдельных слоев. В случае падения пластов от моря, процесс разрушения будет идти быстрее, чем при горизонтальном залегании, так как размыв однородной поверхности пласта труднее,

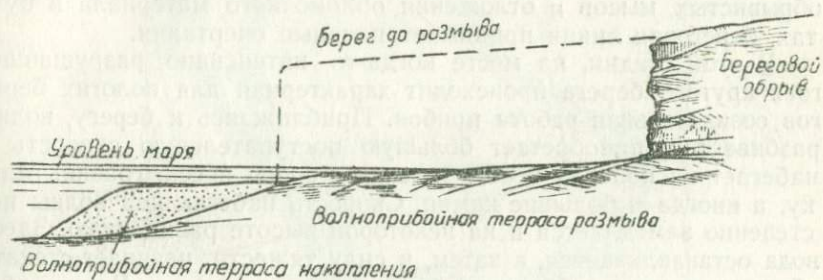


Рис. 112. Образование волноприбойной террасы в результате разрушения прибоем крутого морского берега.

нежели размыв голов разнородных пластов. Наибольшую устойчивость размыву обнаруживают пласты, падающие к морю. Здесь волны скользят вверх по однородной поверхности слоев и теряют свою силу на трение.

Берег, направление которого параллельно простиранию пластов, остается прямолинейным. В том случае, когда пласты будут выходить к берегу под углом, головы твердых пластов дадут мысы, а на месте мягких пород образуются бухты.

Скорость разрушения и отступления берегов различна и часто достигает больших размеров. Так например, берега Ламанша отступают ежегодно на 2 м, а южные и восточные берега Англии — на 1 м. Со времен римского владычества в некоторых местах они отступили на расстояние до 6 км, превратившись в обширные мели.

По мере того как крутой берег моря отступает под разрушительным влиянием прибоя, на месте его образуется очень полого понижающийся к морю уступ, называемый волноприбойной террасой размыва (рис. 112). С течением времени ширина волноприбойной террасы становится все больше, а сила добегающих до основания крутого берега волн — все меньше и меньше. Одновременно у основания волноприбойной террасы

происходит отложение материала, смываемого при разрушении берега (рис. 112), вследствие чего увеличение ширины террасы идет еще быстрее за счет образования волноприбойной террасы накопления. Таким образом, разрушительная работа прибоя постепенно затухает, а созидательная возрастает. В конце концов ширина террасы становится настолько значительной, что разрушительное действие разбитых волн на крутой берег ощущается только во время больших бурь. При дальнейшем увеличении ширины террасы, совершенно прекращается разрушительная деятельность прибоя и крутой обрыв продолжает разрушаться только вследствие выветривания. Со временем, береговой откос становится все положе и в конце концов сливается с волноприбойной террасой, образуя вместе с нею полого спускающийся к морю берег. В это время, вследствие размывания обрывистых мысов и отложения обломочного материала в бухтах, береговая линия принимает плавные очертания.

В этой стадии, на месте когда-то интенсивно разрушавшегося крутого берега происходит характерная для пологих берегов созидательная работа прибоя. Приближаясь к берегу, волна разбивается, приобретает большую поступательную скорость и набегает на пологий берег, увлекая с собой песок, гравий, гальку, а иногда и большие камни. Скорость набегающей волны постепенно замедляется и на некоторой высоте равна нулю. Здесь вода останавливается, а затем, в силу тяжести, начинает стекать обратно в море, образуя отливное течение. Волна, сбегаящая обратно в море с пологого берега, имеет малые скорости и не в состоянии смыть принесенный материал. В результате происходит намывание берега, на котором отлагаются слои из песка, галек и валунов. На верхней границе прибоя образуется небольшая, более или менее правильная гряда, называемая береговым валом. Береговой вал обыкновенно сложен крупнозернистым материалом, отложившимся во время наиболее сильных бурь. Его высота обычно не превосходит 1,5 м над поверхностью намывного берега. Только на берегах Атлантического океана береговые валы, состоящие из галек и крупных валунов, имеют высоту до 5 м.

Часть намывного берега, расположенная между горизонтами прилива и отлива, называется пляжем. Два раза в течение суток пляж покрывается приливной волной и два раза подвергается воздействию солнечного света или холода ночи, почему лишен растительного покрова. В зависимости от характера коренных пород, послуживших материалом для образования наносных отложений, пляжи могут состоять из галечников или песка. Иногда песчинки представляют собой обломки ракушек. Под влиянием ветра здесь зарождаются типичные приморские дюны.

Волны, набегающие под косым углом на берег с бухтами, встречают спокойные воды залива. Скорость их при этом значительно уменьшается и на границе бухт происходит интенсивное отложение несомого волнами материала. Вследствие этого

образуются низкие намывные косы, которые обычно сложены из мелкого песка и называются стрелками или пересыпями (рис. 113). Смыкаясь между собой, стрелки отделяют бухту от моря, превращая ее в озеро, называемое лагуной. Намывные берега часто тянутся на сотни и даже тысячи километров, а лагуны и стрелки значительно уменьшают площадь открытого моря. Многие стрелки имеют большую длину, например, на восточном берегу Балтийского моря они местами тянутся на 40—50 км. Свободно выступающие в море стрелки часто продол-

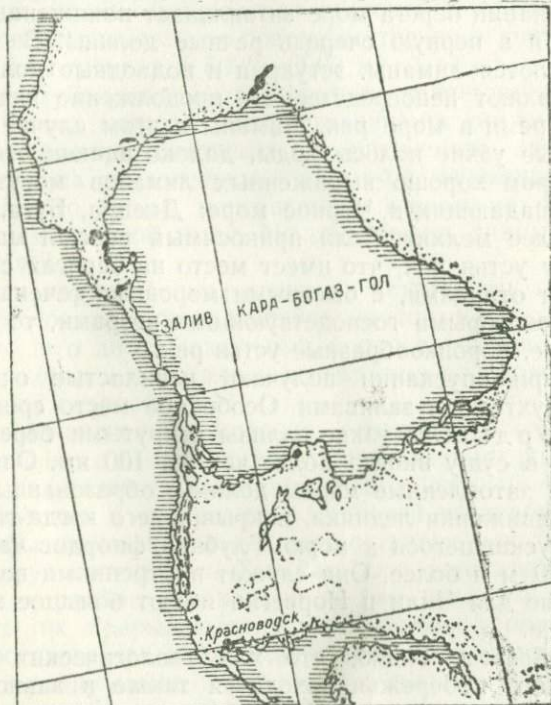


Рис. 113. Залив Кара-Богаз-Гол на Каспийском море (масштаб 1 : 2 520 000).

жаются в виде плоских подводных банок, очень опасных для судов, огибающих их.

Если эстуарии (стр. 155) косами и стрелками настолько отделены от моря, что соединены с ним только одним или несколькими проходами, то их называют лиманами. Таким образом лиманы являются только разновидностью лагун.

Геологическая деятельность моря в береговой зоне осложняется эпейрогеническими движениями литосферы, вызывающими поднятие или опускание берега относительно уровня воды в море. В случае поднятия берега, волноприбойные террасы и береговые валы выходят из сферы действия морского прилива. Если процесс поднятия происходит скачками, то на крутых мор-

ских берегах может образоваться несколько волноприбойных террас, расположенных друг над другом, а на пологих берегах возникает несколько рядов береговых валов. При поднятии берегов речные дельты быстро увеличиваются, заливы и бухты превращаются в лагуны, гавани мелеют, прибрежные болота и торфяники осушаются, и обнажающиеся большие площади песчаного морского дна могут дать начало образованию дюн. Поднявшиеся берега отличаются прямолинейными очертаниями, отсутствием бухт и глубоких заливов.

При опускании берега море затопливает пониженные элементы рельефа и в первую очередь речные долины. В результате этого образуются лиманы, эстуарии и подводные долины, которые представляют непосредственное продолжение впадающих в настоящее время в море рек. Лиманы в этом случае представляют длинные узкие полосы воды, далеко вдающиеся в континент. Примером хорошо выраженных лиманов могут служить устья рек, впадающих в Черное море: Днепра, Буга, Березани и других более мелких. Если приносимый реками материал не отлагается у устья рек, что имеет место на берегах с сильными приливами и отливами, с быстрыми морскими течениями вдоль берегов и некоторыми господствующими ветрами, то возникают эстуарии, т. е. воронкообразные устья рек.

Берега при опускании получают извилистые очертания и изобилуют бухтами и заливами. Особенное место среди них занимают фьорды. Это узкие заливы с крутыми берегами, врезающиеся в сушу иногда более чем на 100 км. Они представляют собой затопленные морем долины, образованные выпахиванием при движении ледника, покрывавшего когда-то северные страны и спускавшегося к морю. Глубина фьордов часто достигает 200—300 м и более. Они служат внутренними водными путями, которые для Чили и Норвегии имеют большое экономическое значение.

Таким образом, видно, что ход геологических процессов вдоль морского побережья находится также в зависимости от того, опускается или поднимается берег моря, что необходимо учитывать при строительстве.

Рассмотренная разрушительная и созидательная механическая деятельность моря в прибрежной зоне имеет для судоходства первостепенное значение. Однако она ничтожна по сравнению с той чудовищной созидательной работой, которая происходит на морском дне. Известно, что почти все осадочные породы, которые покрывают континенты и с которыми инженеру придется непрерывно иметь дело, образовались на дне морей.

Волнующееся море поддерживает во взвешенном состоянии илы и песчаные зерна диаметром меньше 0,1 мм. Этот материал не может относиться на бесконечное расстояние от берега и отлагается в области шельфа.

В зоне континентального склона, не более чем на 200—300 км от берега отлагаются тончайшие илы синеватого, красноватого и

зеленоватого цветов. Скопления этих илов дают жирные морские глины. В области континентального склона наблюдается также коралловый ил, состоящий на 70—90% из обломков кораллов, известковых водорослей и т. п., из которого образуются известняки. Далее от берега встречаются только органические илы, образовавшиеся за счет скопления твердых остатков организмов, как плавающих, так и живущих на дне моря. К этим илам относится также диатомовый, из которого образуется горная порода диатомит. Диатомовый ил имеет соломенно-желтый цвет и состоит из остатков диатомей и других кремнистых организмов. Образуется он преимущественно в южных полярных областях на глубинах в 5000—6000 м.

Самым глубоководным отложением является красная глубоководная глина, которая распространена на дне самых глубоких и наиболее далеко отстоящих от континентов частей океанов. Она состоит из нерастворимых остатков плавающих животных, вулканического пепла, переносимого ветром на огромные расстояния, и метеорной пыли. Накопление ее, видимо, происходит очень медленно.

Красная глубоководная глина не встречается среди морских осадочных пород, наблюдающихся на континентах. Это указывает на то, что дно абиссальных морей не выходило из-под поверхности воды, а находилось непрерывно под водой со времени образования гидросферы.

Среди органогенных морских отложений большой интерес для мореплавателей представляют коралловые рифы, образующиеся в результате жизнедеятельности кораллов в теплых водах тропических и субтропических морей на глубине не больше 50 м. Рифы имеют вид отдельных островов или тянутся в виде пояса вокруг континента. Так как для нормальной жизнедеятельности кораллов необходима чистая вода, то против устьев рек поясы их прерываются. Самый большой пояс коралловых рифов протягивается вдоль северо-восточных берегов Австралии. Он имеет длину свыше 1000 км, при ширине от 15 до 150 км. Между коралловым рифом и континентом находится канал в 30—80 км шириной и 20—70 м глубиной, который используется для прибрежного плавания, так как благодаря рифовому барьеру здесь берега свободны от сильных прибоев.

Из коралловых рифов образуются коралловые известняки, которые встречаются в морских отложениях прежних геологических эпох.

Химическая деятельность моря

В условиях жаркого сухого климата в лагунах и лиманах происходит сильное испарение морской воды. При отсутствии притока свежей воды, вода этих изолированных бассейнов превращается в перенасыщенные растворы, из которых начинают выпадать различные соли. В первую очередь выпадает сернокислый кальций, т. е. на дне бассейна отлагаются ангидрит и гипс.

затем происходит выпадение хлористого натрия, так что поваренная соль морского происхождения всегда залегает над гипсом, и в последнюю очередь выделяются различные магнезиальные соли.

Морская вода, содержащая в растворе достаточное количество углекислого кальция, при быстром испарении цементирует пески и галечники, причем образуются известковистые песчаники и конгломераты.

Химическая деятельность морской воды не является только созидательной. При соприкосновении с горными породами морская вода растворяет их более интенсивно, чем пресная вода. Особенно резко влияние морской воды отражается на бетонных инженерных сооружениях, что важно иметь в виду при портовом строительстве.

Глава XI

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОЗЕР

Зависимость геологической деятельности озер от их происхождения

Озером называется естественное, заполненное водой углубление, не имеющее непосредственной связи с морем. Озера бывают самых разнообразных размеров, от долей квадратного километра до тысяч квадратных километров. Величайшее в мире Каспийское озеро, называемое за свою величину морем, занимает площадь в 436 420 км². По глубине озера встречаются от мелких впадин с илистым дном до бассейнов с глубиной более 1500 м (оз. Байкал). Озера широко распространены на земной поверхности и встречаются в горах, на плато, равнинах, вдоль речных долин и морских берегов. В химическом отношении озерная вода изменяется от пресной мягкой в горных озерах до горько-соленой воды в озерах степных и полупустынных районов. Концентрация солей в воде некоторых озер достигает таких размеров, что кусок соли, брошенный в озеро, не растворяется. Поэтому в таких озерах, как например в Мертвом море, жизнь организмов невозможна.

Если поступающей в озерную впадину воды недостаточно для полного ее заполнения, то озеро называется *бессточным*. Озера, сток воды в которые с окружающей местности больше чем расход на испарение и инфильтрацию в дно, отдают избыток воды через вытекающие из них реки, и называются *сточными*. Они снабжают эти реки водой и в то же время регулируют их расход. В паводок, впадающие в озеро реки, вследствие больших размеров озерного бассейна, повышают уровень воды в нем незначительно и тем самым мало меняют режим вытекающей из озера реки. В межень озеро продолжает снабжать реку водой, обеспечивая более или менее постоянный расход.

Геологические процессы у берегов и на дне озер аналогичны процессам в морях, но по своим масштабам они сильно отличаются от морских. На крутых берегах озер, так же как

и на морских, образуются волноприбойные террасы и наблюдается шлифование и обтачивание каменных глыб и галек; на пологих — возникают пляжи и прибрежные валы. Однако высота волн и сила прибоя на берегах озер, зависящие от размеров и глубины их, как правило, значительно меньше, чем в морях. Так, например, даже на озере Байкал и на Великих озерах в Северной Америке высота волн достигает только 5—6 м. Следовательно, чем больше и глубже озера, тем ближе их геологическая деятельность по своему характеру и масштабам приближается к морской.

Вследствие сравнительно небольших размеров озер, водный режим их отличается меньшим постоянством, чем моря, и обладает рядом характерных особенностей.

1. В озерах наблюдаются сезонные изменения уровня воды, периодичность и амплитуда которых зависят от климатических условий, площади водосборного бассейна и размеров озера. В сухих странах эти колебания незначительны, во влажном климате они достигают значительных размеров и тем больше, чем меньше озеро и больше водосборный бассейн. Годовые колебания уровня в некоторых озерах достигают до 12 м и более, обычно же они находятся в пределах от нескольких сантиметров до 2 м.

2. Под влиянием сильных ветров, вода с одного берега озера стоняется к другому, в силу чего разница уровней воды у противоположных берегов на некоторых озерах достигает до 5—6 м. В мелких озерах с плоским дном при этом наблюдается временный выход из-под воды больших площадей дна.

3. При резкой разнице атмосферного давления на разные части водной поверхности озера, горизонтальная поверхность воды как бы поворачивается вокруг оси и у одного конца озера опускается, а у другого поднимается. Это явление носит название сейши и на больших озерах дает изменение в уровне зеркала воды до 2 м (Байкал, Женевское озеро и др.).

В озерах имеются также временные и постоянные течения, возникающие под действием впадающих в озеро и вытекающих из него рек, под влиянием ветра и вследствие попеременного нагревания и охлаждения масс воды.

Масштабы и характер перечисленных выше факторов, от которых зависит геологическая деятельность озер в целом, находятся в непосредственной связи с геологическим строением впадины. Последнее, в свою очередь, зависит от условия образования озер, т. е. от их генезиса. Чтобы правильно оценить инженерно-геологические условия в районе озера, прежде всего желательно определить его генезис. Различают следующие главные генетические типы озер.

Дислокационные озера образуются при заполнении водой грабен. Они имеют вытянутую форму, крутые берега и большую глубину. К озерам этого типа относятся Байкал и Мертвое море в Сирии, которое является самой глубокой впади-

ной на земной поверхности и уровень воды в котором на 394 м ниже, чем уровень воды в море (рис. 114).

При возникновении складок поперек речных долин, они запруживают верховье и здесь образуются озера с корытообразным дном.

Местные поднятия земной коры при тектонических движениях могут отделить часть моря и образовать озеро. Примером таких озер могут служить Каспийское и Аральское.

Нарушения в земной коре во время землетрясений являются часто причиной образования озер, что неоднократно наблюдалось в историческое время.

Вулканические озера образуются в результате заполнения водой кратеров потухших вулканов. Они имеют обычно круглую форму, значительную глубину и занимают небольшую площадь.

Озера, образующиеся в результате запруживания речных долин, обязаны своим возникновением горным обвалам или выносу большого количества обломочного материала из боковой долины. Подпруживание речных долин могут производить также спускающиеся с гор ледники.



Рис. 114. Геологический разрез через Мертвое море.

Озера, образующиеся при отделении меандрот реки, имеют серповидную

форму, небольшую глубину и илистое дно.

Озера вдоль морских берегов возникают в результате отделения от моря наносами заливов и бухт и называются лагунами и лиманами.

Ледниковые озера широко развиты в северной части Европы и Америки и обязаны своим возникновением геологической деятельности льда, покрывавшего эти материк. Они заполняют то впадины между отдельными возвышениями из наносного материала, то котловины, образовавшиеся в результате выпахивания движущимся ледником. Многие из больших озер этого типа имеют неправильные очертания и болотистые или песчаные берега. Некоторые из них достаточно глубоки, но имеют опасные для судоходства рифы и валуны.

Сравнительно небольшие размеры озер, значительное количество материала, приносимого впадающими реками, накопление обломков, образующихся в результате разрушительной работы прибоев, химические отложения и продукты жизнедеятельности животных и растений приводят к постепенному заполнению озерной впадины и обмелению озера. Одновременно уменьшаются размеры озера и в конце концов оно полностью заполняется отложениями и перестает существовать. В жарком климате сильное испарение еще более ускоряет процесс усыхания озер. Та-

ким образом, озера в геологическом понятии недолговечны, а в степных и горных районах наблюдается очень быстрое их исчезновение. В СССР это явление особенно резко выражено в Арало-Каспийском бассейне, где можно наблюдать все стадии высыхания озер. Горные озера (Иссык-Куль, Искандер-Куль и пр.) в Тяньшане, на Памире и в других горных районах Советского Союза также несут явные следы высыхания. В Тироле за одно XIX столетие исчезло 118 озер.

Озерные отложения

У берегов и на дне озер, так же как и в морях, отлагаются обломочные, химические и органогенные породы. Они всегда имеют более или менее ясно выраженную слоистость, но по мощности и распространению в горизонтальном направлении несравнимы с морскими образованиями.

Обломочные отложения в больших озерах по характеру приближаются к морским, образующимся в прибрежной зоне и в области шельфа. В мелких озерах часто накапливаются только глинистые осадки.

Галечники развиты в небольшом количестве по берегам больших озер, где они образуются почти исключительно за счет приноса реками и очень редко — в результате деятельности прибоя. Галечники встречаются также в отложениях подпруженных горных озер.

Пески развиты неширокой полосой вдоль берегов, расположенных против стороны, с которой дуют преобладающие ветры. Иногда на пологих берегах больших озер (Ладожское, Онежское и др.) отложения песка сопровождаются образованием прибрежных дюн.

Глины преобладают среди озерных отложений и обнаруживают значительное разнообразие в своем составе. Среди озерных глин встречаются песчанистые, известковистые, железистые, углистые и битуминозные, а в горько-соленых озерах — гипсовые, соленосные и кремнистые. На дне озер часто наблюдается слой неуплотненного или илистого песка в несколько метров мощностью. В северных районах широко развиты так называемые ленточные глины, которые образовались во временных ледниковых озерах (глава XIII). Для этих глин характерно чередование тонких песчаных и глинистых прослоек, мощность которых измеряется миллиметрами и очень редко сантиметрами. Эти прослойки рассматриваются, как годичные слои, причем песчаные образовались в сезон, когда приток воды в озеро был максимальный, а глинистые в период, когда поступало настолько ограниченное количество нового материала, что на дне оседал только ил, находившийся во взвешенном состоянии. В районе Ленинграда ленточные глины широко используются для производства кирпича.

Химические отложения широко развиты только в горько-соленых озерах, где они образуются благодаря испаре-

нию в условиях сухого и жаркого климата. Среди них преобладают: поваренная соль, ангидрит и гипс, кроме которых, вследствие осаждения кремния, образуются также кремнистые глины и сланцы. Известняки химического происхождения тоже образуются в результате испарения и залегают большей частью в виде неправильных холмообразных скоплений. На дне пресных озер умеренного климата часто образуются незначительные залежи лимонита в виде отдельных зерен и стяжений, который поэтому часто называется озерной рудой.

Органогенные отложения имеют в озерах значительное развитие. Благодаря накоплению большого количества раковин моллюсков, приноса реками известкового ила, а так же за счет разрушения сложенных известняками берегов, на дне озер накапливается толща мергелистых известняков и мергелей. В случае большого развития диатомовых водорослей, скелеты их скапливаются на дне, образуя ил, который постепенно переходит в горную породу диатомит, называемый иногда трепелом или инфузорной землей.

С озерами и озерными отложениями инженеру приходится иметь дело при возведении сооружений на дне существующих или исчезнувших озер. Так как глинистые озерные отложения обычно сильно пористы, то для них характерна резко выраженная зависимость физико-механических свойств от степени увлажнения. Например, ленточные глины в сухом состоянии плотны, мало сжимаемы и обладают высокой несущей способностью, но при увлажнении они превращаются в глинистую массу с незначительной связностью и дают при нагрузке большие осадки. Благодаря дренирующей способности песчаных прослоек, осадки в ленточных глинах проходят сравнительно быстро.

Особенно много трудностей при проведении водных путей представляют частично высохшие или полужаросшие озера. На судоходных озерах защита берегов и пристаней имеет такое же значение, как на берегах морей.

Озера используются также как источники для водоснабжения и как резервуары для спуска дренажных вод при осушительных работах.

Глава XII

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ БОЛОТ

Генетические типы болот

Болотами называются площади, покрытые тонким слоем воды в течение значительной части года. Следовательно, образование болот возможно только при плоском рельефе, водоупорных породах и малом испарении. В связи с этими условиями на болотах развивается своеобразная, так называемая болотная растительность, обладающая большой влагоемкостью и сравнительно малой способностью испарять с своей поверхности воду. По местоположению относительно элементов рельефа болота подразделяются на низинные и верховые.

Низинные болота образуются в понижениях и на нижней части пологих склонов долин. На этих болотах произрастает осока и мелкие виды ольхи и березы. Питаются низинные болота, главным образом, за счет речных, озерных и подземных вод, выходящих на склонах.

Верховые болота возникают на плоских водораздельных равнинах, где неглубоко от поверхности залегает водонепроницаемый слой, задерживающий атмосферные осадки, за счет которых эти болота питаются. Характерной растительностью для верховых болот являются белый мох (сфагнум), иногда заменяемый зеленым мхом (гипнум), и чахлый лес. В результате более быстрого нарастания и скопления отмершего мха в центральной части болота, чем по краям, верховые болота принимают в конце концов плоско-выпуклую поверхность. В случае нарастания сфагнума на низинных болотах, получаются болота переходного типа.

По происхождению можно выделить следующие генетические типы болот:

Озерные болота образуются в результате полного или частичного зарастания озер. У берегов озер до глубины 1—2 м вырастает камыш и тростник, а далее — водяные лилии и плавающие растения — планктон, отмирающие части которых, опускаясь на дно озера, дают основную массу для органического пла — сапропеля. Таким образом, одновременно происходит обмеление озера и зарастание от берегов и с поверхности. Толщина слоя планктона постепенно увеличивается, и он в конце концов покрывает всю поверхность озера, превращая его в болото-зыбун. Поверхность такого болота прогибается под нагрузкой идущего человека или животного и приходит в волнообразное движение. Эти болота представляют большую опасность, так как растительный покров местами совсем отсутствует, образуя окна, а местами настолько тонок, что человек проваливается сквозь него. С течением времени растительный покров сверху настолько увеличивается, что на болоте начинает произрастать карликовая сосна. В то же время слой сапропеля на дне все возрастает и водяная подушка в конце концов совершенно исчезает.

Речные болота приурочены к долинам рек и образуются обычно на заливаемых пойменных террасах и дельтовых низменностях. Среди речных болот различают: меандровые — образующиеся в результате зарастания стариц, отделившихся от меандрирующих рек, подпруженные — расположенные в пониженных частях тальвегов, отделенных от русла рек естественным повышением вдоль берега, дельтовые — отличающиеся от подпруженных болот только своим положением на дельтовых низинах, и устьевые — расположенные на заливаемой равнине вблизи устья реки, где вода подпруживается приливами.

Болота, питающиеся за счет выхода подзем-

ных вод, расположены на пологих склонах, сложенных водонепроницаемыми породами. Они мокры весь год или большую часть года, могут иметь тонкий торфяной покров и трудно проходимы.

Болота прибрежных равнин развиты на плоских плохо дренируемых равнинах. В зависимости от климата, они могут быть даже весь год покрыты водой. Эти болота занимают площади, измеряющиеся сотнями и тысячами квадратных километров и часто содержат промышленные залежи торфа.

Болота плоских водоразделов развиты во влажных районах с большим количеством осадков и холодным летом. Это — типичные верховые болота с выпуклой поверхностью.

Тундровые болота развиты в условиях сильно влажного и холодного климата северных широт. Особенно они характерны для районов, где земля оттаивает летом только на небольшую глубину, т. е. для зоны вечной мерзлоты. Промерзший грунт служит водоупором, задерживающим воду от дальнейшего просачивания вглубь, и вызывает заболачивание на больших территориях.

Прибрежные морские болота образуются в полосе приливов и отливов вдоль берегов, защищенных косами и стрелками от прибоя волн. Они могут развиваться также вдоль берегов приливных эстуариев и имеют солоноватую воду.

Солончаковые топи представляют своеобразную разновидность болот, которые образуются в условиях сухого жаркого климата на глинистом дне высохших озер. В дождливый период они превращаются в непроходимую топь, которая в сухое время года покрывается разбитой трещинами коркой. Вследствие высокого содержания солей в грунте, солончаковые топи представляют собой совершенно безжизненные плоские пространства.

Болота в СССР занимают площадь не менее 130 млн. га, или 7% от общей площади; около 30 млн. га находятся в Европейской части СССР. Большинство болот расположено в северных областях Европейской части СССР, в Белорусской ССР, на севере Западной и Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Из этого видно, насколько велико значение болот при производстве различных инженерных работ и для всей экономики страны.

Отложения болот

Все отложения болот представляют или скопление остатков отмерших растений, или содержат большое количество их. Главным представителем первых является торф, а вторых сапропелит.

Торф, в зависимости от характера растительных остатков, из которых он образовался, подразделяется на лесной, моховой, камышевый, хвощевой и лиственный. Процесс образования торфа состоит в том, что отмирающие ежегодно части растений погружаются на дно болота и, накапливаясь, дают черную или коричневую волокнистую массу, в которой трудно отличить отдельные растения.

Влагоемкость торфа, т. е. способность поглощать воду, достигает исключительных размеров. Так, некоторые моховые торфы могут удерживать до 1000% воды от их веса. Вследствие этого объем торфа при высыхании уменьшается в 3—7 раз. При очень сильном насыщении водой торф превращается в разжиженную массу, сходную с болотным илом. Несущая способность торфа, благодаря его сильной сжимаемости, незначительна, и как основание под сооружения, кроме земляных насыпей, он непригоден.

Торф с трудом отдает воду, благодаря чему осушение канавами торфяных болот происходит очень медленно. В то же время малая отдача делает возможным применение торфа для устройства противофильтрационных экранов плотин.

Так как сухой торф обладает слабой теплопроводностью, то он часто используется в качестве изоляционного материала для предохранения от промерзания грунтов, и т. п.

Обыкновенно разработка залежей торфа, мощность которых иногда достигает 10—12 м, производится для использования его в качестве горючего.

Сапропелит и другие болотные илы содержат большое количество органических веществ. Они имеют серый до серосинего цвет, чрезвычайно вязки, и в верхних слоях представляют собой жидкую грязь, которая с глубиной становится плотнее. В уплотненных илах, приближающихся по свойствам к очень слабым глинам, нередко присутствует пирит в виде конкреций и тонких пленок. Мощность илов бывает от нескольких миллиметров до десятка метров. По физико-механическим свойствам болотные илы уступают даже торфу, и совершенно негодны как основание под сооружения. При возведении насыпи на торфе, под которым находится слой ила, неизбежно происходит прорыв торфяной корки.

В болотах нередко происходит отложение лимонита в виде неправильных масс и слоев незначительной мощности. В этом случае лимонит часто называют болотной рудой.

Низкие строительные качества болотных грунтов не позволяют использовать их как основание под сооружения. Если нельзя избежать постройки на болоте, то необходимо возводить сооружение или на плотном грунте дна болота или на искусственном основании. Иногда прибегают к полной засыпке болота.

Возведение насыпей на верхней коре озерных болот часто сопровождается прорывом ее и полным погружением сооружения. Такие случаи имели место на железных дорогах Ленинград — Витебск и Швеции.

К малой несущей способности болотных грунтов присоединяется еще вредное действие болотной воды на бетон, что необходимо иметь в виду при бетонных работах. Агрессивная углекислота в болотной воде переводит кальций в бикарбонат каль-

ция, который растворяется. При высокой концентрации углекислоты бетон полностью разрушается.

При большом количестве гипса в торфе мелких болот, он отлагается болотной водой в пористом бетоне, что ведет к разрушению бетонных сооружений. Высокое содержание магнезии в болотных грунтах также приводит к повреждениям бетона.

При постройке на болотах необходимо применять совершенно свежий камень и использовать лишь богатые глиноземом кислотоупорные цементы.

Глава XIII

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛЬДА

Геологическая деятельность льда, образовавшегося из снега

Вода не только в жидком, но и в твердом виде разрушает горные породы, переносит обломки и отлагает новые горные породы. Отложения, образующиеся в результате геологической деятельности льда, не похожи на породы, образованные другими геологическими агентами. Эти отложения имеют широкое развитие на земной поверхности и формируют своеобразный ледниковый ландшафт. С ними все время приходится иметь дело при инженерных работах на равнине Европейской части СССР и в горных районах.

Лед может образоваться из снега путем его уплотнения или вследствие замерзания воды при температуре ниже 0° .

При температуре воздуха ниже 0° избыточная влага выпадает из атмосферы в виде снега, который образует на поверхности суши снежный покров. Мощность снега и продолжительность промежутков времени, которые он сохраняется на земной поверхности, зависят от климатических и орографических условий. На равнинах средних широт снег лежит только зимой, а на высоких горах и в полярных странах в течение всего года. Это — снеговые области, нижняя или южная граница которых называется снеговой линией. Абсолютная высота прохождения снеговой линии в тропиках 6000—5000 м, в умеренном климате 3000—1500 м, а в северных и полярных странах спускается от 1500 м до нуля. На снеговой линии средние годовые температуры близки к 0° , а количество выпадающего за год снега равно количеству тающего. В снеговых же областях количество тающего снега в теплое время меньше количества выпадающего в холодное время и здесь расположены сплошные снежные поля. Самые большие снежные поля находятся в Гренландии и в Антарктике.

Накапливаясь в высокогорных областях, снег не остается там вечно. Под давлением новых слоев он уплотняется и продвигается вниз по склону. В долинах и на пологих склонах этот

процесс протекает медленно, в то время как с крутых склонов и обрывистых гребней огромные массы снега низвергаются с большой быстротой, образуя так называемые лавины. Падая, лавины захватывают на своем пути продукты выветривания горных пород размером от мелкого щебня до крупных камней, а также стволы деревьев. В области отложения они засыпают дороги и даже селения, так что у основания склонов, по которым наблюдаются регулярные лавины, никто не селится.

Попадая на небольшие речки и ручьи, лавины подпруживают их. После промыва нижней части лавин водным потоком образуются снежные мосты. В случае, когда лавины следуют друг за другом более или менее планомерно, снежные мосты могут существовать в течение ряда лет, даже ниже снеговой линии.

Чтобы бороться с лавинами, прежде всего необходимо знать склоны, на которых они происходят периодически — обычно зимой и весной, а также те склоны, где наблюдаются случайные лавины. Для этой цели для горных районов составляются специальные лавинные карты, которыми широко пользовались войска в первую и вторую мировую войны. Для защиты дорог на опасных участках устраивают деревянные или каменные перекрытия — галлеи, позволяющие снегу, не причиняя вреда, перекачиваться через дорогу. Более надежным, но гораздо более дорогим мероприятием является устройство туннелей. Целесообразнее бороться с лавинами принятием мер, предупреждающих их появление. В пределах лесной зоны лес препятствует падению лавин, но выше границы лесов борьба с лавинами возможна только путем инженерных мер.

На опасном склоне возводят продольные каменные стенки, расположенные в шахматном порядке на небольшом расстоянии друг от друга. Эти стенки расчленяют мощный слой снега на целый ряд узких полос, которые легче сохраняют равновесие. Созданные таким путем террасовидные уступы должны быть прочными, а поэтому при возведении каменных стен надо учитывать процессы выветривания и размыва. Забивка кольев, столбиков и кусков рельс высотой в 1 м увеличивает трение снега о склон и дает хорошие результаты. Проволочные сети в несколько рядов также оправдали себя в ряде мест. В местах, где выступающие утесы способствуют накоплению снега, необходимо смягчить их контуры путем взрывных работ. При рубке леса на склонах, где возможно образование лавин, необходимо оставлять пни высотой не менее 1—1,5 м.

Падающий на снежные поля сухой порошкообразный снег образует слой до 100 м мощностью. Под воздействием солнечных лучей он оплавляется и превращается в зернистый снег или фирн. В дальнейшем, под давлением вышележащих слоев, фирн переходит в пористый фирновый лед, из которого в конце концов образуется плотный ледниковый лед голубого цвета. Процесс превращения снега в ледниковый лед происходит очень медленно. С течением времени мощность слоя льда увеличи-

вается и достигает на некоторых горах до 600 м. Образовавшийся лед начинает медленно спускаться вниз в виде ледяных потоков, называемых ледниками. По своему характеру ледники подразделяются на долинные, или высокогорные, и покровные, или континентальные.

Долинные ледники. Долинные ледники образуются почти под всеми широтами за счет снежных полей высоких гор и по долинам спускаются вниз. В то же время отдельные пики и гребни с крутыми склонами, несмотря на гораздо большую высоту, свободны от льда, так как топографические условия не благоприятствуют скоплению на них снега.

Очень часто бывает трудно провести границу между ледником и снежным полем, так как они постепенно переходят друг в друга. Кроме того, в каждый главный долинный ледник впадает ряд боковых, которые в свою очередь питаются за счет снежных полей. Форма долинных ледников обуславливается очертаниями долин, по которым они спускаются, а размеры зависят от площади питающих снежных полей, количества осадков и температуры. Длина ледников в Альпах достигает 25 км, а в Ср. Азии — 50—60 км, причем 10 из них принадлежат к величайшим ледникам мира. Количество ледников в каждом высокогорном районе исчисляется сотнями, например на Кавказе насчитывается 183, а в Туркестане 705 ледников.

Положение нижней границы ледника определяется быстротой его таяния и скоростью, с которой он опускается вниз по долине. Проходит эта граница там, где количество тающего льда равно поступающему сверху. Обычно нижний конец ледника спускается несколько ниже снеговой линии, а в северных широтах он доходит даже до уровня моря. Отрывающиеся огромные части спускающегося в море ледника образуют плавающие ледяные горы — айсберги. Нижний конец ледника редко находится на одном месте. Когда температура повышается настолько, что тает больше льда, чем поступает, то нижняя граница ледника перемещается вверх. При резком падении температуры наблюдается обратная картина, т. е. нижний конец ледника спускается на более низкие отметки.

Скорость движения ледника зависит от его размеров, количества осадков в области питания и крутизны долины. Вследствие трения о бока и дно долины, скорость движения ледника в середине больше, чем у краев. Наибольшие скорости кавказских, альпийских, норвежских и других ледников равны всего 40—100 м в год, в то время как для некоторых гималайских ледников они достигают до 0,7—1,3 км в год, а для гренландских даже до 1—7 км. Так как процесс движения ледника есть течение, то зависимость скорости его движения от размеров ледника, его формы, поперечного сечения долины и т. д. такая же, как и для водного потока, т. е. с увеличением массы ледника скорость возрастает; в широких участках долины она уменьшается, а в суженных увеличивается.

При движении ледник разбивается многочисленными оди-ночными параллельными трещинами или большими беспоря-дочно пересекающимися группами их. Количество трещин ме-стами настолько велико, что ледник представляет собой как бы массу нагроможденных в беспорядке глыб льда.

Ледники сходны с реками не только по своему движению, но и по геологической деятельности. Они, как и реки, разру-шают, переносят, шлифуют и отлагают обломки горных пород. Однако результаты деятельности ледников по своему характеру настолько отличаются от результатов работы воды и других геологических агентов, что ледниковые долины и породы, отло-женные ледником, легко узнать, даже после полного его исчез-новения. Эрозионная работа ледника состоит в сносе рыхлых продуктов выветривания, в сглаживании и выпахивании горных пород на дне и боках долины, а также в шлифовании их. Хотя давление на дно долины при толщине ледника в 300 м соста-вляет около 300 т/м², но не только оно производит эрозионную работу. Активное участие в ней принимают также неокатанный песок, щебень и глыбы камней, которые действуют как абра-зивный истирающий и шлифующий материал. В результате одно-временного эродирующего действия на дно и стенки долины все неровности на дне сглаживаются, а склоны выравниваются и становятся настолько крутыми, что поперечное сечение до-лины принимает U-образную форму.

Ледник захватывает и переносит к нижней границе своего распространения обломки пород, которые он разрушает на дне и на склонах долины. Этот материал в значительной мере по-полняется также продуктами физического выветривания, кото-рые падают с непокрытых снегом крутых склонов долины и отдельных скал. Попадая на поверхность ледника, они скапли-ваются вдоль его боков и переносятся вниз по долине, причем постепенно проникают в лед. Во время передвижения ледника весь несомый им материал продолжает перетираться, окаты-ваться и шлифоваться.

Скопления перенесенного и отложенного ледником мате-риала называются моренами. В зависимости от условий отложения и формы залегания, различают основную, или дон-ную, конечную и береговую морены.

Основная морена. Весь обломочный материал, кото-рый ледник несет в себе, постепенно накапливается в теле лед-ника. После полного исчезновения льда он остается на дне до-лины и называется основной мореной (рис. 115). Она предст-авляет собой неслоистую, совершенно неотсортированную раз-нородную породу, состоящую из скопления тонких глинистых частиц, песка и отшлифованных изборожденных штрихами галек и валунов. Основную морену часто называют валунной глиной, так как обычно она состоит из глины или суглинка с валунами различных размеров. Валуны, объем которых измеряется кубиче-скими метрами, а вес тоннами, не являются редкостью.

Конечные морены образуются у нижнего конца ледника, где количество притекающего льда равно количеству тающего. Если такое положение длится долгое время, то приносимый льдом материал нагромождается в данном месте в виде поперечного выгнутого вниз по долине вала, называемого конечной мореной (рис. 115 и 117). Высота конечной морены тем больше, чем дальше конец ледника находится на одном месте. Высота некоторых конечных морен гренландских ледников достигает 30—40 м.

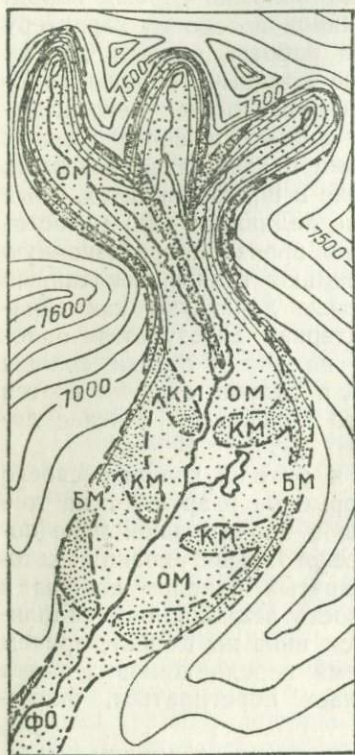


Рис. 115. Отложения долинного ледника:

ОМ — основная морена, КМ — конечная морена, БМ — береговая морена, ФО — флювиогляциальные отложения.

Если таяние и отступление ледника происходит быстро, то в конце его не успевает скопиться достаточное для образования конечной морены количество материала. В этом случае конечная морена отсутствует и снова образуется только тогда, когда таяние ледника станет менее интенсивным и конец его опять долго будет оставаться на одном месте (рис. 115). Таким образом, число конечных морен, расположенных параллельно друг другу поперек долины, соответствует числу остановок отступающего ледника.

Если падение горной долины не очень велико, и горный поток не в состоянии промыть конечную морену, то она может подпрудить долину. В результате этого выше конечной морены образуется озеро или болото.

Береговые морены. Обломки, накапливающиеся по бокам ледника, образуют после его таяния вдоль склонов долины валы или террасовидные уступы, которые называются береговыми моренами (рис. 115). Если два ледника соединяются в один, то

материал, переносимый каждым из них с двух боков, которые соединяются, окажется посреди главного ледника. Вследствие этого, кроме береговых морен, вытянутых вдоль склонов главной долины, посреди нее также образуется продольная моренная гряда (рис. 115). В большинстве ледниковых долин береговые морены выражены более ясно, чем основные и конечные.

Геологическая деятельность ледников усиливается работой

водных потоков, которые вытекают из-под ледника. В области прогрессивного таяния ледника, на его поверхности и у дна образуется бесчисленное количество ручейков. Летом в тающем льду ледника возникают каверны, пещеры и туннели. Из них вытекают большие потоки, которые выносят валуны, гальку, песок и тонкий глинистый материал. Эти потоки при выходе из промытых ими во льду или под льдом русел растекаются на значительной площади или разделяются на большое число ручейков. При этом они начинают отлагать более крупный из несомого ими материала. Если конец ледника выходит на равнину, то отложения вытекающих из-под него вод образуют удлиненный конус, похожий на пролювиальные конусы выноса. Отложения вод, вытекающих из-под тающего ледника, называются флювиогляциальными. Они отсортированы водными потоками, скорости которых постепенно уменьшаются. Вследствие этого у края ледника флювиогляциальные отложения сложены валунами и галькой, а затем, по мере удаления от него, переходят в горизонтальном направлении последовательно в гравий и песок. На расстоянии в несколько километров от края ледника флювиогляциальные отложения уже представлены суглинками и даже глинами.

Покровные или континентальные ледники. Ледники, покрывающие огромные площади и даже целые континенты, называются покровными или континентальными. В то время, как долинны ледники являются ледяными потоками, имеют вытянутую вдоль долин форму и занимают сравнительно ограниченные площади, континентальные ледники представляют собой скорее ледяные покровы. Размеры их несравненно больше, чем долинных ледников; например, континентальный ледник Антарктики имеет площадь более 5 000 000 км². Они развиты в условиях холодного климата приполярных стран, т. е. там, где обширные плоскогорья или целые континенты находятся выше снеговой линии. Континентальные ледники медленно спускаются во всех направлениях от возвышенной части континента, называемой центром оледенения.

В настоящее время континентальные ледники развиты только в приполярных странах. Однако совсем недавно (в геологическом понятии), в ледниковую эпоху климат был настолько холодным, что большая часть Европы (рис. 116) и Северной Америки была покрыта ледником. Центр оледенения Европы находился в Скандинавии, откуда ледник спускался на северо-запад в Атлантический океан, на юг и на юго-восток. В последних направлениях распространение ледника достигло огромных размеров. Он покрывал Скандинавский полуостров, всю Северную Германию, Польшу и большие пространства Европейской части СССР, где в период максимального распространения доходил почти до Днепропетровска и юго-восточнее Воронежа, образуя два больших, далеко выдающихся к югу языка (рис. 116).

Во время ледниковой эпохи климат не оставался постоянным. Длительные холодные периоды сменялись временными потеплениями, когда размеры ледника уменьшались и он отступал далеко на север. Установлено трехкратное почти полное исчезновение ледника и ряд более мелких перемещений его края к северу и югу. Каждое такое перемещение ледника сопровождалось сглаживанием существовавшего ранее рельефа, переносом далеко к югу обломков гранитов, слагающих Скандинавские горы,

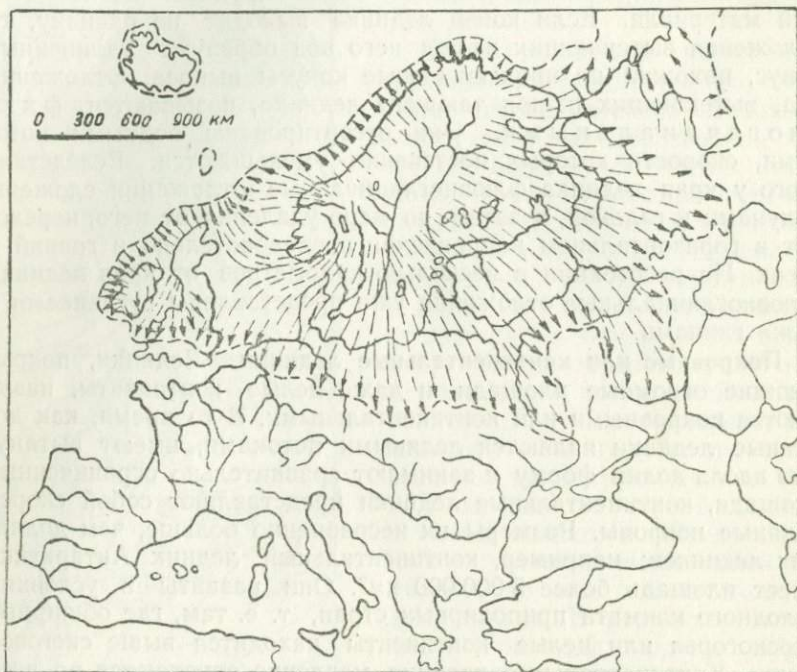


Рис. 116. Граница максимального распространения и направление движения древнего оледенения.

и образованием нового комплекса ледниковых отложений. Накопление их явилось основной причиной создания своеобразного ледникового ландшафта, столь характерного для областей Европейской части СССР, находящихся в зоне развития древнего оледенения. Вся эта территория покрыта отложениями древнего оледенения, мощность которых местами превышает 100 м. Здесь ледниковые отложения скрывают под собой все более древние породы и на каждом шагу инженеру-строителю приходится иметь дело с этими своеобразными образованиями, возникшими в результате геологической деятельности льда. Неравномерность состава ледниковых отложений причиняет много трудностей при строительных работах и требует в каждом от-

дельном случае проведения детальных инженерно-геологических исследований.

Основная, или донная морена является самым главным и наиболее широко распространенным отложением древнего оледенения. Она образовалась подо льдом в периоды его таяния и покрывает территории, когда-то занятые континентальным ледником. Рельеф областей, занятых основной мореной, характеризуется невысокими повышениями с пологими склонами, между которыми расположены многочисленные обширные понижения, занятые болотами и озерами. Количество этих озер ледникового происхождения в Карело-Финской ССР и в северо-западной части Ленинградской области огромно. Отсутствие стока и малая водопроницаемость морены обуславливают их широкое распространение.

В Эстонской ССР и в других областях на площадях развития донной морены широко распространены небольшие холмы овальной формы, вытянутые в направлении движения ледника. Эти холмы имеют высоту 10—15 м при длине от 300 до 1000 м; называются они *друмлинами*. Ядро друмлинов сложено коренными породами, на которых залегают морена.

На территории Европейской части СССР основная морена древнего оледенения представляет собой неслоистый валунный суглинок или глину голубовато-серого цвета, которая при выветривании принимает буровато-красную и желтоватую окраску. Во влажном состоянии она пластична, а в сухом становится твердой. Хотя не наблюдается никакой закономерности в распределении валунов и гальки в основной морене, однако крупные валуны встречаются больше в нижней части ее. Валуны и гальки представлены, главным образом, скандинавскими гранитами и реже другими изверженными и осадочными породами. Они имеют округленные края и носят следы шлифования и штриховки. Часто в моренной глине встречаются быстро выклинивающиеся слои и небольшие линзы галечника, гравия и песка.

В то время, как донная морена современных долинных ледников не уплотнена и не может служить надежным основанием, несущая способность валунных глин древнего оледенения оценивается обычно в 4—5 кг/см² и более. Часто встречающиеся линзы льда в современных моренах требуют очень большой осторожности при возведении на них сооружений, между тем эта опасность совершенно исключается в моренах древних оледенений.

Конечные морены отмечают южную границу распространения ледника во время длительных остановок (рис. 117). В виде правильно изогнутых гряд и отдельных холмов грядового расположения они протягиваются перпендикулярно движению ледника среди заболоченных пространств, покрытых донными моренами. Валдайская возвышенность, с которой Волга берет свое начало, является грядой конечных морен одного из последних оледенений. Особенно резко выражены в рельефе две па-

раллельных конечных морены в южной Финляндии (рис. 118). Они отстоят на 20—30 км друг от друга и используются как естественные насыпи для железных дорог и для возведения обранных укреплений.

Конечные морены часто состоят из нагромождения валунов или из песчаных отложений с большим содержанием гальки и валунов. Обычно только у основания конечных морен начинают преобладать супеси и суглинки. Конечные морены отличаются большой пористостью и водопроницаемостью, что важно учитывать при гидротехнических стройках. Районы развития конечных морен богаты залежами булыжного камня, гальки и песка, которые используются для строительных целей.

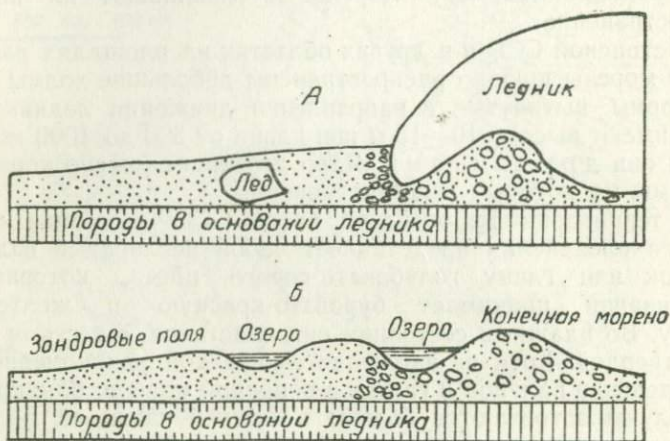


Рис. 117. Образование конечных морен, зандровых полей и ледниковых озер: А — до полного исчезновения ледника, Б — после таяния ледника.

Наряду с моренами, в областях распространения древнего оледенения развиты также флювиогляциальные отложения. Они обычно сложены слоистыми песками и глинами с гравием и галькой. В зависимости от условий образования, флювиогляциальные отложения принимают различные геоморфологические формы, среди которых различают озы, камы и зандровые поля.

Озы встречаются всегда севернее одновременно образовавшихся с ними конечных морен и представляют собой часто извилистые валообразные гряды, похожие на железнодорожные насыпи. Иногда они выражены в виде следующих один за другим холмов. Многие озы имеют длину в несколько километров, при ширине в 10—30 м, причем вытянуты они всегда в направлении движения ледника. Озы обычно разделяют мелкие озера и болота, расположенные на основной морене. Образовались озы отложением песка потоками, протекавшими в трещинах и тун-

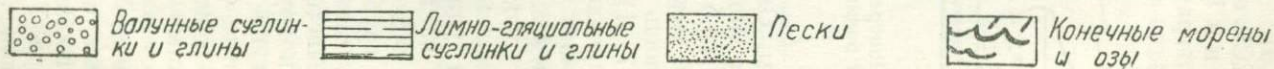
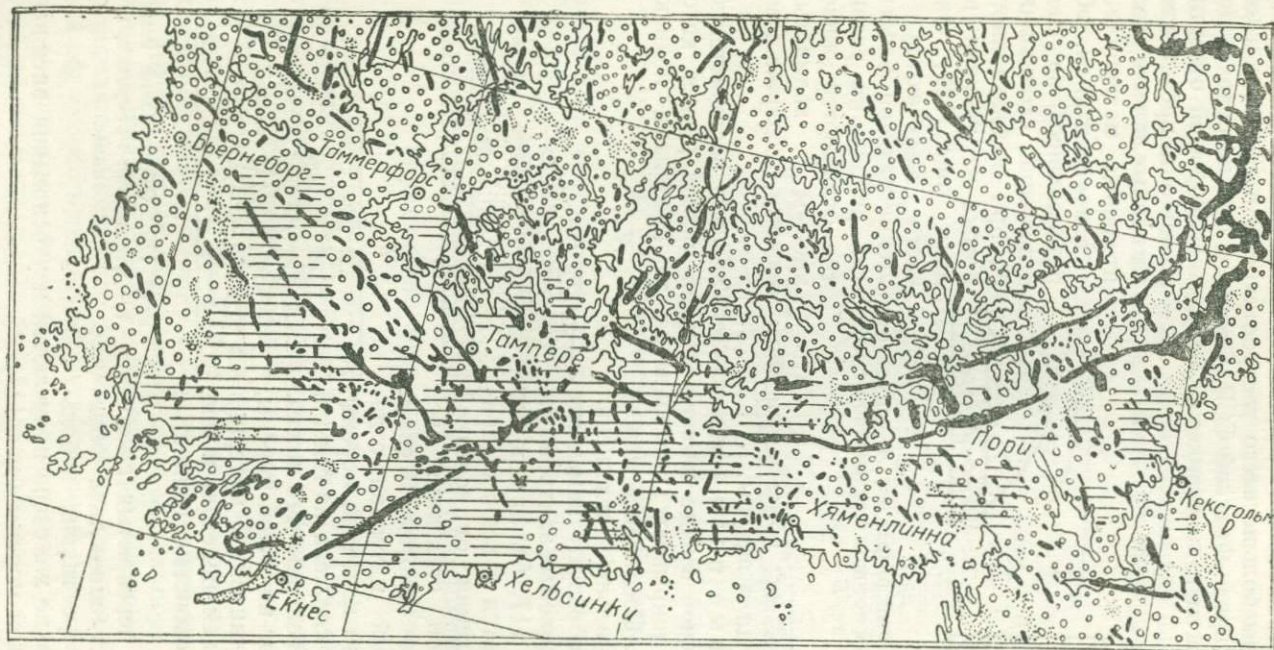


Рис. 118. Конечные морены южной Финляндии,

нелях ледника, после таяния которого превратились в гряды (рис. 119).

В СССР озы больше всего распространены в Ленинградской области и в Карело-Финской ССР. Сложены озы косослоистыми песками, гравием и галечниками. Вследствие хорошей отсортировки они представля-

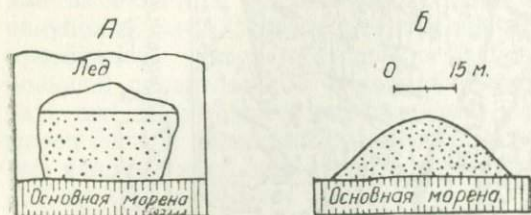


Рис. 119. Поперечный разрез оза: А — песок, отложенный водным потоком в ледниковом туннеле, Б — оза.

ют ценные залежи строительного материала. Камы — холмы, образовавшиеся за счет отложений, скопившихся при выходе водного потока из туннеля во льду (рис. 120). Они часто встречаются в Ленинградской области, где районы их развития отличаются живописным холмистым

рельефом. Сложены камы в основном гальку, а иногда и валуны. Зандровые поля. Вода тающего ледника растекается за конечной мореной в виде многочисленных мелких ручьев, которые сплошь покрывают пространства за пределами ледника (рис. 117, А). Соединяясь между собой, аллювиальные отложения

этих ручьев образуют намывные равнины, называемые зандровыми полями (рис. 117, Б). Зандровые поля понижаются от ледника, причем при удалении от конечной морены наклон становится все более и более пологим. В связи с этим грубый материал отлагается у самой конечной морены, которая часто сложена из гальки, гравия и грубозернистого песка. Чем дальше от конечной морены, тем мельче становится материал зандровых полей, переходя в тонкозернистые слоистые глинистые пески.

На месте перекрытых песком отдельных останцев льда образуются после их таяния небольшие озера. Такие же озера получают и у основания внешнего склона конечной морены (рис. 117).

К ледниковым образованиям относятся еще озерно-ледниковые отложения, типичным представителем которых являются

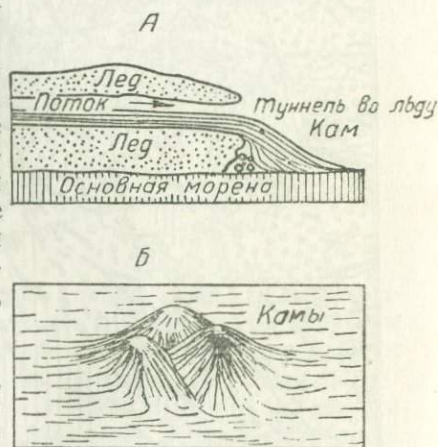


Рис. 120. Образование камов: А — отложение материала, Б — камы.

ленточные глины (глава XI). Они накапливаются в многочисленных временных ледниковых озерах, образующихся вдоль края ледника в том случае, если впереди ледника находится водораздел, подпруживающий подледниковые воды (рис. 121). Многие из этих озер имели небольшие размеры и быстро заполнялись отложениями, некоторые же из них покрывали площади в сотни квадратных километров и являлись резервуарами, в которых

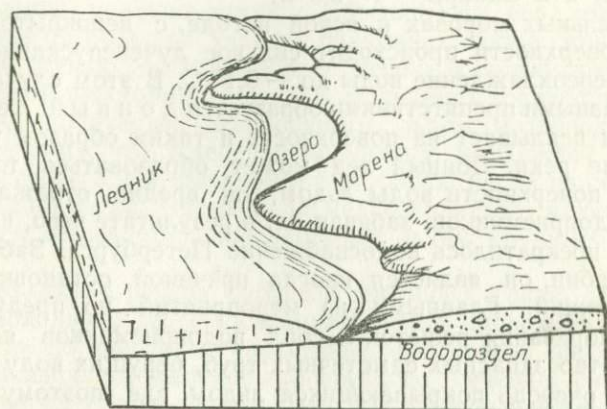


Рис. 121. Временные приледниковые озера.

отлагались мелкозернистые и тонкозернистые слоистые осадки. Районы развития озерно-ледниковых отложений представлены в рельефе плоскими заболоченными равнинами.

Геологическая деятельность льда, образовавшегося непосредственно при замерзании воды

В холодное время в умеренном и суровом климате, на поверхности воды при температуре ниже 0° образуется лед. Этот лед также производит определенную геологическую работу, которая представляет большой интерес для инженера-водника. Различают речной, озерный и морской лед.

Речной лед. Так как наибольшую плотность пресная вода имеет при температуре $+4,2^{\circ}$ C, то при самых сильных морозах не может начаться образование льда до тех пор, пока вся вода реки не охладится до этой температуры. Поэтому большие реки замерзают позже малых. Кроме расхода реки, на ход замерзания влияют скорость течения и мутность воды. Чем медленнее течение и чище вода, тем скорее замерзает река; медленно текущая река может покрыться льдом в одну холодную ночь. Замерзание быстро текущих рек начинается у берегов, где скорость течения меньше. Образовавшаяся здесь кора льда, называемая за бе-

регом, постепенно становится шире. Одновременно на плесах происходит накопление отдельных небольших кусков льда — сало, которое постепенно нарастает, образуя сплошной покров. На поворотах, у островов и при других благоприятных условиях сало останавливается, задерживает приплывающее сверху сало, и в результате река покрывается корой из льда с неровной поверхностью. Толщина льда в умеренном климате достигает 0,3—0,6 м, а в Сибири — 1—2,5 м.

При сильных морозах и ясной погоде, с непокрытой льдом водной поверхности происходит сильное лучеиспускание, вызывающее переохлаждение воды до $-0,1^{\circ}\text{C}$. В этом случае на дне реки за разными препятствиями образуется донный лед, который затем всплывает на поверхность и таким образом ускоряет замерзание реки. Донный лед может образоваться только до покрытия поверхности воды льдом; он вредно отражается на работе водоприемников, забивая их, в результате чего, например, в 1914 г. прекратилось водоснабжение Петербурга. Забивая решетки турбин, он является иногда причиной остановки гидроэлектростанций. Главными из мероприятий по предупреждению закупоривания решеток и сопл водоприемников являются: а) устройство запасных самотечных труб, берущих воду из бухт, в первую очередь покрывающихся льдом, где поэтому прекращается образование донного льда; б) применение водяного пара; в) пропускание через решетки электрического тока; г) удаление льда сжатым воздухом.

Геологическая деятельность речного льда наиболее ярко выступает при замерзании и вскрытии рек. В том и другом случае в суженных участках рек и на поворотах часто образуются скопления льда, называемые заторами. Заторы представляют собой ледяные плотины, подпруживающие реку, причем процесс накопления льда начинается сверху и при благоприятных условиях может достигнуть дна реки. Этому способствует еще донный лед, который, в свою очередь, забивает русло, образуя заторы.

Полное подпруживание реки льдом особенно грандиозные размеры принимает на реках Европейской части СССР и Сибири, текущих в северном направлении. Вскрытие этих рек начинается сверху, что вызывает скопление льда у нескрытых еще мест. При этом вода заливая пологие берега и с огромной силой давит на лед, препятствующий ее движению. Она выпирает лед на берег, который двигает перед собой много песка, гальки и валунов, шлифуя и перетирая их. В результате этого, после таяния льда на берегу остаются увеличивающиеся с каждым годом поперечные и продольные валы. Одновременно лед разрушает береговые утесы из крепких пород и выпахивает желоба в аллювиальных отложениях. На некоторых реках лед образует между меженим и весенним урезами воды естественную каменную мостовую из плотно уложенных валунов. В то же время, обла-

мывая выступающие части, лед сильно поврсждает или совершенно разрушает мосты и другие сооружения на берегу. Особенно сильно деятельность льда проявляется на сибирских реках и в частности на Ангаре, где участки с заторами и зажорами часто занимают по несколько километров.

Поверхностный лед производит большую работу по переносу обломочного материала. После вскрытия рек он несет песок, гальку и валуны, примерзшие к нему в заберегах, а так же щебень и глыбы, упавшие зимой с обрывов на его поверхность. В этой работе большое участие принимает также донный лед. Всплывая осенью, он захватывает песок и гальку, перенося их на некоторое расстояние, а весной на льдинах транспортируя еще дальше. О количестве переносимого льдом материала можно судить по тому, что у деревни Вершинино на Нижней Тунгуске льдина всего в 3,2 м шириной и 5 м длиной несла на себе около 3 м³ гальки и песка. Часто среди мелкозернистого аллювия в низовьях рек встречаются перенесенные льдом крупные валуны и глыбы.

На небольших речках Сибири и северного Урала, где наблюдаются холодные, но малоснежные зимы, происходит доходящее иногда до дна речки нарастание льда сверху вниз. Это вызывает сильное уменьшение поперечного сечения русла реки, вследствие чего вода давит на лед и у берегов или по трещинам во льду вытекает на поверхность, заливая сверху лед и прилегающие части поймы. Замерзая, эта вода образует наледи и еще более утолщает лед. При чередовании прорывов воды на поверхность с ее замерзанием, образуется очень толстый (до 5 м и более) покров льда, который в условиях сурового климата не всегда полностью растаивает даже к осени. В течение лета река течет в медленно тающем ледяном русле или прокладывает себе рядом другое русло.

Участки, где развиты наледи, трудно проходимы зимой, так как покрыты смесью снега, льда и воды. Эти участки обычно лишены растительности и покрыты галькой и песком.

Озерный лед образуется только тогда, когда вся вода достигает максимальной плотности, т. е. температуры $+4,2^{\circ}\text{C}$. Так как в больших и глубоких озерах даже в суровые зимы этот процесс не всегда заканчивается полностью, то в таких случаях эти озера замерзают только у берегов. Пресные озера замерзают при 0° , а соленые — при более низкой температуре, в зависимости от их солености. На дне мелких озера, также как и на реках, может образоваться донный лед. Он поднимает гальки и песок, которые ветром на льдинах могут относиться далеко от берега и при таянии льда осаждаются там на дно. На крайнем севере мелкие озера часто промерзают до дна.

В условиях сурового климата вода у берегов озера промерзает до дна и лед смерзается с грунтом. В таком случае при понижении температуры лед не может свободно сжиматься, в нем возникают напряжения, в результате которых образуются трещины,

достигающие на озере Байкал до 1—2 м шириной. Эти трещины заполняются замерзающей в них водой. При повышении температуры лед снова расширяется, но так как вода уже заняла свободное место, то лед с огромной силой давит на берега. Это приводит или к смятию льда в складки или к перемещению краев льда на берегу вместе с вмерзшим в него материалом. Сдвинутый при этом льдом рыхлый материал дает после таяния льда валы из песка, гравия и валунов, вытянутые параллельно береговой линии. Они бывают в несколько метров высотой, и от береговых валов, образованных прибоем, отличаются неотсортированностью материала и большей крутизной склона, обращенного в сторону озера. При сильном ветре ледяные глыбы производят интенсивное разрушение крутых берегов и сдвигают в валы песок и галечник пологих берегов.

Морской лед образуется при температуре воды около $-2,5^{\circ}\text{C}$. В северных широтах вся морская вода близка к точке замерзания, но лед в 2—3 м толщиной предохраняет ее от интенсивного охлаждения во время холодной полярной зимы. У берегов морей толщина льда местами достигает 15 м, причем лед получается не только одним промерзанием воды, но также за счет выпадения снега и в результате нагромождения отдельных глыб льда морскими течениями. Лед играет большую роль в эрозии берегов, так как защищает их от действия прибоя, а при таянии летом дает глыбы, на которых, как на плотках, уносятся в море обломки горных пород, упавшие с обрывистых берегов.

В полярных морях плавают также айсберги — массивы льда, отколовшиеся от покровных континентальных ледников, спускающихся к морю. Айсберги несут в себе сотни тысяч тонн минерального материала.

В мелких морях, кроме того, образуется донный лед, который, поднимаясь со дна, иногда увлекает якоря, почему называется также якорным льдом.

В менее холодном климате действие морского льда на берега во время прибоя аналогично действию, наблюдающемуся в озерах, но оно больше по своим размерам.

Глава XIV

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Общие сведения о подземных водах

Подземными водами называются воды, заполняющие поры и пустоты литосферы. Они или образуются внутри земли, или являются скоплением поверхностных вод, проникших в горные породы.

С древних времен наличие подземных вод определяло экономическое значение многих районов. Большие древние города, как Рим, Вена, Париж и другие расположены в местах с легко доступными подземными водами. Особенно рельефно зависимость

населенности от подземных вод выступает в пустынях, где отсутствуют поверхностные воды. Здесь населены только оазисы, где подземные воды выходят на поверхность в виде родников или могут быть получены из неглубоких колодцев.

При возведении любого инженерного сооружения необходимо учитывать возможность встретить подземные воды. Наличие или отсутствие их определяет условия производства работ и стоимость. В одних случаях отсутствие подземных вод сильно удорожает и осложняет выполнение поставленных задач (например, нефтяные промыслы в Закаспийской пустыне снабжаются водой по специально сооруженному водопроводу более 100 км длиной), в других случаях, наоборот, подземные воды разжижают грунты, делая их неустойчивыми и непригодными для возведения зданий без принятия специальных, обычно дорогостоящих мероприятий. Вопросы, связанные с водоотливом котлованов под сооружения и карьеров при разработке строительных материалов, всегда встают перед строителем.

Особенное значение подземные воды имеют при сооружении каналов. Здесь одновременно необходимо бывает обеспечить снабжение канала за счет подземных вод, но в то же время нужно исключить возможность потерь воды через неплотные участки грунта. Глубокие каналы в свою очередь могут полностью изменить режим подземных вод в породах, вскрываемых при их отрытии. Прежде, чем решать вопрос о сооружении плотины для создания водохранилища, необходимо выяснить, в какой мере питание его может происходить за счет подземных вод, или, наоборот, сможет ли вода уходить в обход плотины и какие меры можно принять для устранения этой опасности. Все это возможно только при знании тех законов, которым подчиняются подземные воды, геологическая деятельность которых неразрывно связана с вмещающими их горными породами.

Учение о происхождении, движении, физических свойствах, химическом составе и геологической деятельности подземных вод составляет специальную область геологических знаний, выделившуюся в отдельную дисциплину, называемую гидрогеологией. Практическое значение гидрогеологии при решении инженерных вопросов настолько велико, что она составляет неотъемлемую часть инженерной геологии.

Геологическая деятельность подземных вод, так же как и других агентов экзогенных сил Земли, состоит в механическом и химическом разрушении горных пород, переносе и отложении новых осадков. При этом на поверхности и в недрах Земли наблюдается целый ряд своеобразных явлений, имеющих большое практическое значение.

Происхождение подземных вод. Существует два места, где зарождается вода, из которой образуются подземные воды, — глубокие недра Земли и атмосфера. Соответственно происхождению, подземные воды подразделяются на ювенильные и вадозные.

Ювенильными водами называются те, которые образовались непосредственным выделением из магмы или путем синтеза кислорода и водорода в глубоких слоях Земли. Ювенильной по происхождению может быть часть воды некоторых горячих источников; ювенильные воды в виде пара выделяются также при извержении вулканов. Достигая высоких слоев литосферы и земной поверхности, ювенильные воды пополняют водные запасы Земли. Обычно ювенильные воды погребены на недоступной человеку глубине и практического интереса для инженера не представляют.

Вадоznыми водами называются подземные воды, образовавшиеся за счет атмосферной влаги. Образоваться вадозные воды могут или непосредственным проникновением — инфильтрацией в горные породы выпавших осадков, или путем сгущения — конденсации паров воды в порах и пустотах верхних слоев Земли. Соответственно условиям образования вадозные воды подразделяются на инфильтрационные и конденсационные.

Около 30% всех осадков, выпадающих на земную поверхность, стекает в моря и океаны. Остальная влага или инфильтруется вглубь, или испаряется непосредственно с поверхности Земли. Количество воды, которое инфильтруется, зависит от ряда факторов, главнейшими из которых являются:

1) объем осадков (с увеличением осадков увеличивается инфильтрация до полного насыщения пор);

2) характер выпадения осадков (чем более бурно проходят дожди, тем меньше инфильтрация);

3) крутизна рельефа (чем положе рельеф, тем больше воды проникает вглубь Земли, так как сток задерживается и вода имеет больше времени на просачивание);

4) пористость почв и грунтов (в осадочные и выветрелые горные породы вода проникает легче, чем в массивные изверженные, так как они имеют гораздо большую пористость);

5) условия залегания пород (в наклонно залегающие слои инфильтруется больше воды, чем в горизонтальную толщу, ибо при наклонном залегании вода поступает в наиболее легко фильтрующиеся слои, а при горизонтальном — должна проходить через все породы);

6) количество и характер растительности (растения и органический материал, образующийся в результате жизнедеятельности растений, задерживают поверхностный сток воды, способствуя тем самым ее просачиванию; лес и луг задерживают не только сток, но и испарение);

7) степень влажности воздуха (чем влажнее воздух, тем меньше испарение и более благоприятные условия для инфильтрации).

Атмосферная вода поступает в Землю по трещинам и по пустотам, имеющим размеры от каверн до тончайших пор. Больше всего пустот имеется у поверхности земли. Даже в самых креп-

ких породах, более или менее соединенные пустоты могут существовать только до глубины 15—17 км, слабые же породы не могут иметь пустот уже на глубине около 1,5 км. Результаты бурения на воду, а также наблюдения в глубоких нефтяных скважинах и рудниках подтверждают, что подземные воды встречаются на глубинах до 1,5 км. Вода на таких глубинах всегда соленая и может быть даже ювенильного происхождения. Таким образом, инфильтрационные воды находятся вблизи от поверхности земли, хотя при специфических условиях могут встречаться и на сравнительно больших глубинах.

Конденсационная вода образуется в результате сгущения водяного пара, находящегося в воздухе, который заполняет поры грунтов. Процесс конденсации связан с суточными и сезонными колебаниями температуры грунта, поэтому он распространяется всего на глубину нескольких метров. В средних климатических зонах конденсационные воды практического значения не имеют, так как они играют ничтожную роль по сравнению с инфильтрационными. Возможно их некоторое значение в полупустынных областях, где инфильтрация ничтожна.

Виды подземной воды.

Подземная вода в газообразном виде, т. е. в виде пара встречается в пустотах горных пород, передвигаясь из мест с большей упругостью пара в места с меньшей упругостью. Водяные пары адсорбируются частицами породы и в конце концов последние покрываются сплошной пленкой воды толщиной в один ряд молекул (рис. 122, 1 и 2). Эта вода называется гигроскопической и передвигаться может только переходя в водяной пар. Под влиянием молекулярных сил сцепления между породой и частицами воды, толщина пленки увеличивается и при этом образуется так называемая пленочная вода, которая передвигается от частиц с более толстыми пленками к частицам с более тонкими (рис. 122, 3 и 4). При некоторой толщине пленок, силы

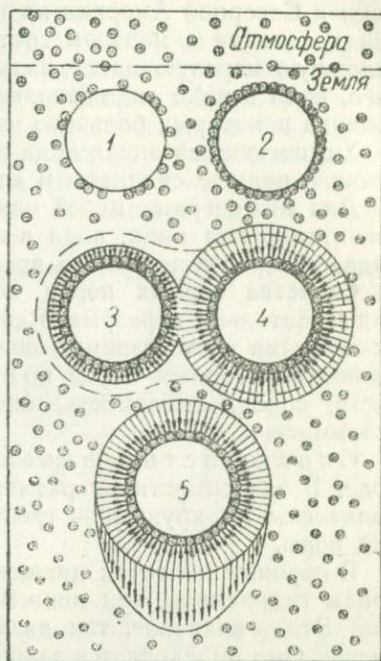


Рис. 122. Схема различных состояний воды в горных породах (по Лебедеву). Мелкие кружочки обозначают воду в виде пара, крупные — частицы грунта: 1 — неполная гигроскопичность, 2 — максимальная гигроскопичность, 3 и 4 — пленочная вода, причем 4 окружена пленкой максимальной толщины и вода от частицы 4 движется к частице 3, 5 — гравитационная вода.

притяжения не могут удерживать пленочную воду на поверхности частиц. В результате этого избыточная влага начинает двигаться под действием собственного веса; называется она гравитационной водой (рис. 122, 5). При очень тонких порах гравитационная вода подчиняется законам перемещения жидкости в капиллярных сосудах и называется капиллярной.

В твердом виде вода встречается в горных породах северной Азии и Северной Америки на глубинах до 100 м и более. Здесь она находится в мерзлом состоянии и цементирует грунты в сплошную мерзлую массу, называемую вечной мерзлотой. Кроме того, вода в виде льда заполняет ледяные пещеры, температура воздуха в которых большую часть года ниже 0°.

Химически связанная вода входит в виде химического соединения в водные силикаты и другие соли.

Для инженерных целей максимальный интерес представляет гравитационная вода, вода в виде льда и химически связанная вода, которой в последнее время уделяется много внимания.

Свойства горных пород по отношению к воде. Подземные воды настолько неразрывно связаны с горными породами, что их свойства часто взаимно определяют друг друга. Главнейшими свойствами горных пород по отношению к воде являются: скважность, водопроницаемость, влагоемкость, капиллярность и растворимость.

Скважностью называется наличие пустот в горной породе. В зависимости от размеров, эти пустоты могут быть подразделены на крупные — трещины, каверны и т. п. и мелкие, или поры.

В крупных пустотах движение воды подчиняется тем же законам гидравлики, как движение в руслах рек, каналах и трубах. Это — вихревое, так называемое турбулентное движение. Оно определяется законом Шези, выраженным формулой:

$$v = c \sqrt{Ri} = c \sqrt{R \frac{h}{l}} \quad (8)$$

где v — скорость течения подземного потока, c — эмпирический коэффициент, R — гидравлический радиус канала, равный частному от деления площади поперечного сечения подземного потока на смоченный периметр пустоты, $i = \frac{h}{l}$ — уклон, по которому течет вода (гидравлический градиент).

В породах с мелкими пустотами, т. е. в пористых породах, имеет место гораздо более медленное равномерное параллельно-струйное ламинарное движение, которое подчиняется закону Дарси, выраженному формулой:

$$v = ki = k \frac{h}{l} \quad (9)$$

где v — скорость течения, k — коэффициент фильтрации, $i = \frac{h}{l}$ — уклон или напорный градиент (рис. 123). Таким обра-

зом, согласно закону Дарси, скорость потока в пористом грунте прямо пропорциональна напорному градиенту и коэффициенту фильтрации. Числовое значение коэффициента фильтрации может быть получено, если в (9) принять $h = l$ или, что то же, принять $i = 1$. В этом случае из выражения (9) следует:

$$v = k$$

т. е. коэффициент фильтрации численно равен скорости потока при напорном градиенте, равном единице.

Коэффициент фильтрации зависит от размеров пор в породе. Так как характер пор в то же время зависит от величины и формы зерен, то, следовательно, коэффициент фильтрации является величиной характерной для каждого зернистого грунта, состоящего из зерен определенного размера. Чем больше размер зерен грунта, тем больше поры грунта, а следовательно, тем больше коэффициент фильтрации и способность грунта пропускать через себя воду, т. е. больше его водопроницаемость.

Количество воды, которое порода может вместить в своих порах и трещинах, т. е. при состоянии, когда объем воды равен объему пустот, называется полной влагемкостью. При откачивании воды из грунта или при устройстве дренажа, из породы удаляется только гравитационная вода, так как

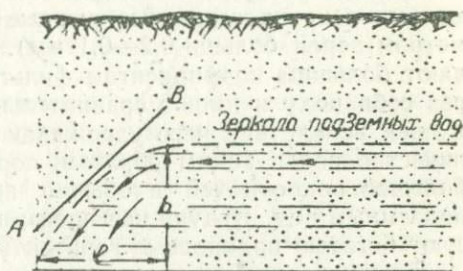


Рис. 123. Напорный градиент.

грунт обладает водоудерживающей способностью, которая называется также абсолютной влагемкостью. Вода, остающаяся в порах, не подчиняется закону тяжести и удерживается на поверхности зерен силами молекулярного притяжения и поверхностного натяжения (капиллярная и пленочная вода). Выраженное в процентах отношение объема воды, удерживаемое в порах грунта, к общему объему породы называется удельным водоудержанием грунта.

Объем воды, свободно вытекающей из пор, определяет водоотдачу породы. Количество отдаваемой грунтом воды, выраженное в процентах от общего объема породы, называется удельной водоотдачей.

Сумма удельного водоудержания и удельной водоотдачи равна пористости породы. Чем мельче зерна (частицы) грунта или чем тоньше трещины, тем меньше удельная водоотдача породы.

Определение удельной водоотдачи имеет большое практическое значение при решении вопросов осушения местности, искусственного понижения уровня подземных вод, водоснабжения и т. п.

По водопроницаемости и водоудерживающей способности (абсолютной влагоемкости) все породы подразделяются на 4 группы:

1) Водоупорные невлагоемкие породы (все плотные изверженные и большинство метаморфических пород).

2) Водонепроницаемые влагоемкие породы (пластичная глина, мергель, торф и бурый уголь); в сухом состоянии глина жадно поглощает воду, но впитав воду до состояния полной влагоемкости, становится водонепроницаемой, так как удельная водоотдача ее близка к нулю. По этой причине пласты глины непригодны для получения из них воды.

3) Слабо водопроницаемые влагоемкие породы (лесс и мел), удерживающие в себе большое количество воды, но в то же время медленно пропускающие ее через себя. Породы этой группы обладают уже некоторой небольшой водоотдачей.

4) Водопроницаемые невлагоемкие породы (все грубообломочные и крупнозернистые рыхлые осадочные породы с диаметром зерен больше 0,2—0,1 мм). Эти осадочные породы обладают большим коэффициентом фильтрации, легко пропускают через себя воду и имеют сравнительно малое удельное водоудержание, вследствие чего удерживают только незначительное количество воды. Таким образом, породы этой группы обладают большой водоотдачей и обычно используются для получения подземных вод. Будучи насыщены водой, слои этих пород образуют богатые водоносные горизонты.

Капиллярностью горных пород называется способность горных пород поднимать воду, как в капиллярных сосудах. Капиллярность находится в тесной зависимости от крупности зерен, слагающих породу. В крупном гравии с диаметром зерен более 5 мм, капиллярность отсутствует, но в песках с зернами от 0,5 до 0,1 мм капиллярное поднятие воды достигает 0,4 м. В мелком песке капиллярное поднятие воды увеличивается до 1 м, а в глинах достигает нескольких десятков метров. Капиллярность противодействует проникновению воды вглубь, вследствие чего имеет большое значение для растительного мира степных и полупустынных районов, где широко развиты обладающие большой капиллярностью лессовые и лессовидные породы.

Растворимость горных пород водою определяется не только их химическими свойствами, но и химическим составом воды, причем пресная вода растворяет породы менее интенсивно, чем вода, содержащая агрессивную углекислоту. По растворимости горные породы можно разделить на 8 групп:

1) кварциты, кварцевые пески и песчаники с кварцевым цементом;

2) изверженные и метаморфические породы;

3) суглинки, глинистые сланцы и песчаники с глинистым цементом;

4) разные пески и песчаники с доломитовым, известковым и мергелистым цементом;

5) доломиты;

6) известняки;

7) гипс;

8) каменная соль.

Заметно растворяющая деятельность воды проявляется в породах последних 5 групп.

Химизм подземных вод. Подземные воды никогда не бывают идеально химически чистыми. Они всегда содержат в растворе некоторое количество газов и минеральных веществ. При соприкосновении с горными породами вода повышает содержание растворенных соединений, количество и химический состав которых зависит от состава омываемых пород.

По количеству растворенных минеральных веществ, подземные воды подразделяются на следующие: пресные воды, содержащие до 1 г/л растворенных веществ, слабо соленые воды — от 1 до 3 г/л, соленые воды — от 3 до 50 г/л и рассолы — более 50 г/л.

Пресные воды, с содержанием в растворе углекислых, сернокислых и хлористых солей кальция и магния до 0,25 г на 1 л, называются мягкими. При большом содержании этих солей воды получают название жестких. Испаряясь, воды выделяют растворенные в них соли в виде различных туфов. Налет, который жесткие воды образуют на трубках паровых котлов, на стенках самоваров и т. п., называется накипью. Сернокислые соли (гипс) оставляют плотную накипь, а углекислые (известковые) — пористую. Жесткая вода невыгодна при получении пара и неудобна для употребления в домашнем обиходе, так как требует дополнительного расхода мыла, а мясо, овощи и бобы в жесткой воде трудно увариваются. Для здоровья употребление даже очень жесткой воды не вредно.

В СССР степень жесткости воды определяется немецкими градусами, причем 1° жесткости соответствует содержанию в 1 л воды 10 мг окиси кальция (CaO) или эквивалентных 14 мг окиси магния (MgO). Существуют еще английские и французские градусы жесткости.

Содержание в воде всех солей кальция и магния есть общая жесткость, которая подразделяется на временную, или устранимую, и постоянную жесткости. Временную жесткость дает присутствие двууглекислых солей кальция и магния, которые при кипячении переходят в углекислые и выпадают в осадок. Хлористые и сернокислые соли не могут быть удалены кипячением и представляют постоянную жесткость.

Источником жесткости являются те горные породы, в которых движется вода. Наиболее мягкая вода находится в изверженных и в аллювиальных породах, а наиболее жесткая в известняках и гипсовых породах.

Большое практическое значение имеет содержание в воде углекислоты, которая встречается в виде:

1) прочно связанной — углекислота монокарбонатов (преимущественно Na_2CO_3 и MgCO_3) и половина углекислоты бикарбонатов — преимущественно $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$;

2) полусвязанной, равной половине углекислоты бикарбонатов;

3) свободной, которая подразделяется на равновесную и агрессивную.

Прочно связанная и полусвязанная углекислота определяет жесткость воды, равновесная — удерживает в растворе бикарбонаты кальция и магния, а агрессивная — является избытком свободной углекислоты. Она имеет особенное техническое значение, так как разрушает металлы и известковые кладки. Кроме непосредственного вреда для сооружения, это опасно еще и потому, что в результате растворения металлов может произойти отравление.

Разрушающим образом на бетонные кладки действуют также органические кислоты, среди которых наибольшее значение имеет гуминовая кислота болотных вод.

В подземных водах часто встречается аммиак. В случае неглубокого залегания вод, он обычно имеет органическое происхождение и указывает на загрязнение с поверхности земли.

Условия залегания подземных вод. Подземные гравитационные воды передвигаются в порах водопроницаемых пород и по трещинам. Они не всегда полностью пропитывают вмещающий их слой, заполняя поры пласта только до определенного уровня. Свободная поверхность воды в этом случае получает название зеркала подземных вод (рис. 123). Часть пласта породы или весь пласт, полностью пропитанный гравитационной водой, называется водоносным горизонтом.

По условиям залегания подземные воды подразделяются на почвенные (верховодка), грунтовые, межпластовые безнапорные, артезианские и трещинные.

Почвенные воды, или верховодка, образуются за счет пленочной и капиллярной воды, накапливающейся у самой поверхности земли при выпадении атмосферных осадков. Таким образом, они обычно являются подвешенными водами (рис. 124) и насыщают грунт только до предела водоудерживающей способности (абсолютной влагоемкости). Избыточная влага стекает вниз и насыщает нижележащие слои пород, увеличивая тем самым мощность слоя почвенных вод. Отсутствие гравитационной воды, перемещающейся под влиянием силы тяжести, исключает возможность использования почвенных вод колодцами. В то же время почвенные воды имеют огромное значение для питания растений и служат важным объектом изучения для почвоведов и агрономов.

Почвенные воды сильно зависят от гидрометеорологических факторов, что часто придает им сезонный характер. Кроме того

они подвержены резким колебаниям температуры — летом они сильно нагреваются, а зимой промерзают. Находясь у самой поверхности земли, почвенные воды всегда загрязнены органическими веществами и заражены микроорганизмами.

Грунтовые воды образуются в том случае, когда, поступая вниз, гравитационная вода встречает на своем пути водонепроницаемый пласт — водоупор (рис. 124). Таким образом, грунтовыми водами называются такие, которые залегают на первом от поверхности водоупорном слое, а сами водонепроницаемой породой не прикрыты. Если мощность слоя настолько велика, что поступающая вода может заполнить поры только нижней его части, то верхней границей грунтовых вод служит их зеркало. Над ним находится зона капиллярного поднятия — капиллярная кайма (рис. 124), высота которой в крупнозернистых

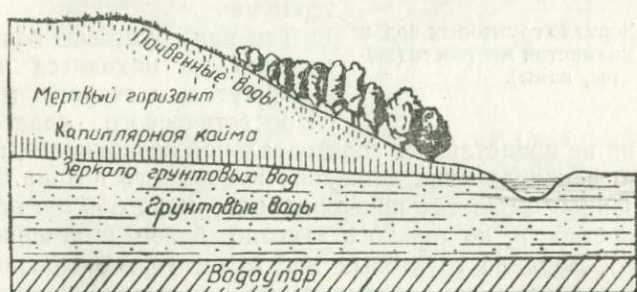


Рис. 124. Схема залегания почвенных и грунтовых вод.

песках незначительна, а в мелкозернистых породах может достигать 2 м. Между капиллярной каймой и почвенными водами находится воздушно-сухая порода, так называемый мертвый горизонт, или промежуточный пояс зоны аэрации.

Зеркало грунтовых вод не остается на одном месте, а в зависимости от количества атмосферных осадков и других факторов опускается или поднимается. В условиях влажного климата и большого количества осадков оно может достичь почвенных вод и пересечь земную поверхность. В этом случае грунтовые воды выходят на поверхность и вызывают заболачивание местности. Чем ближе к поверхности находятся грунтовые воды и чем более водопроницаемы вмещающие породы, тем более резки колебания уровня зеркала грунтовых вод. В этом случае поднятие зеркала наблюдается сейчас же после таяния снега или после сильных дождей, а в засуху и зимой наблюдается наиболее низкое стояние грунтовых вод. При слабо водопроницаемых породах и при большой их мощности, часто требуется значительный промежуток времени, чтобы выпавшие на поверхности земли осадки профильтровались до зеркала грунтовых вод. В этом случае

обычно имеет место отставание изменений уровня грунтовых вод от метеорологических явлений на поверхности.

Длительность отставания равна времени, нужному для фильтрации воды с поверхности до грунтовых вод. Иногда это время измеряется месяцами, так что зимой и летом наблюдается самое высокое стояние грунтовых вод, а весной и осенью — наиболее низкое.

Колебание зеркала грунтовых вод имеет большое практическое значение. Вследствие его колодцы, которые в одно время года имеют воду, могут в другое время года быть без воды (рис. 128); то же относится к подвалам, котлованам и карьерам по разработке строительных материалов.

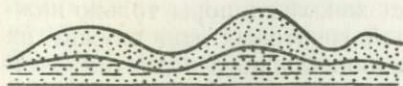


Рис. 125. Зеркало грунтовых вод в песчаной холмистой местности (дюны, камы).

Так как грунтовые воды обыкновенно не находятся в покое, а движутся в сторону меньшего гидростатического давления, то зеркало их не представляет горизонтальной поверхности, а всегда наклонено в направлении движения подземного потока. В камовых и дюнных областях поверхность зеркала обычно повторяет рельеф местности, но только в заметно более смягченном виде (рис. 125). Зеркало грунтовых вод будет горизонтально только в том случае, если они заполняют впадину в водоупорном ложе, что часто встречается в области развития древних ледниковых отложений. В этом случае скопление подземных вод не передвигается, а образует подземное озеро. Если же подземные воды движутся, то говорят о грунтовом потоке.

При неглубоком залегании грунтовых вод наблюдается даже суточное колебание их температуры. При более же глубоком залегании суточные изменения не сказываются, но сезонные и годовые все же могут иметь место.

Межпластовыми безнапорными водами называются такие, которые частично насыщают водоносный пласт, залегающий между двумя водонепроницаемыми пластами (рис. 126). Образуются межпластовые безнапорные воды обычно в мощных пластах, имеющих наклонное водоупорное ложе. Главное отличие их от грунтовых вод состоит в том, что они не получают питания непосредственно сверху, а могут пополнять свои запасы только за счет притока сбоку (рис. 126). Кроме того, температура межпластовой воды не подвержена таким резким изменениям, как грунтовой. Здесь в зависимости от глубины

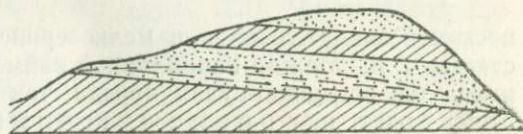


Рис. 126. Схема залегания межпластовых безнапорных вод.

залегания можно наблюдать только сезонные и годовые, или только годовые колебания температуры.

Межпластовыми и напорными — артезианскими — водами называются воды, находящиеся под гидростатическим давлением. Образуются они в том случае, если вода, инфильтрующаяся в водопроницаемый пласт, полностью его заполнит и не имеет из него свободного выхода. Самым широко распространенным благоприятным для накопления артезианских вод геологическим условием является синклинальное залегание слоев (рис. 127, А). Вода, проникающая в пласт 1, скапливается в нижней

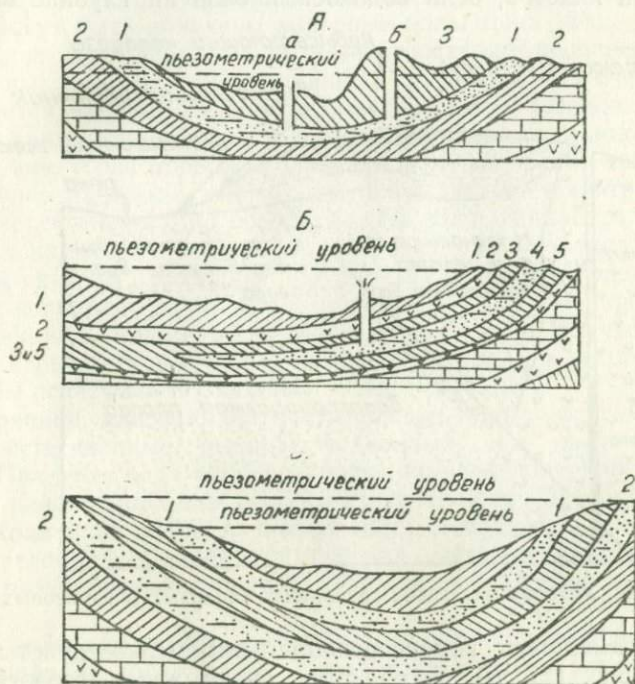


Рис. 127. Схемы залегания артезианских вод.

части мульды, так как пласты 2 и 3 водонепроницаемы и для нее нет выхода. После заполнения всего слоя, вода в каждой точке будет находиться под давлением вышележащей, следовательно, чем ближе к оси синклинали, тем под большим гидростатическим давлением она будет. Если в точке а (рис. 127, А) открыт колодезь, то вода из него будет фонтанировать и может подняться до линии, соединяющей точки с максимальным гидростатическим напором, называемой пьезометрическим уровнем. Обычно высота пьезометрического уровня несколько ниже стояния зеркала подземных вод у выхода артезианского

горизонта, что объясняется потерей напора на тренне при движении воды в теле пласта.

Артезианские водоносные бассейны, приуроченные к мульдам, часто занимают большие площади и имеют огромное значение в экономике целых государств и областей. Примером может служить Подмосковский артезианский бассейн, занимающий северные и центральные области Европейской части СССР. Классическим примером артезианского бассейна может служить также Парижский бассейн во Франции и др.

Артезианские воды могут образоваться и при моноклинальном залегании пластов, если водоносный слой на глубине выклини-

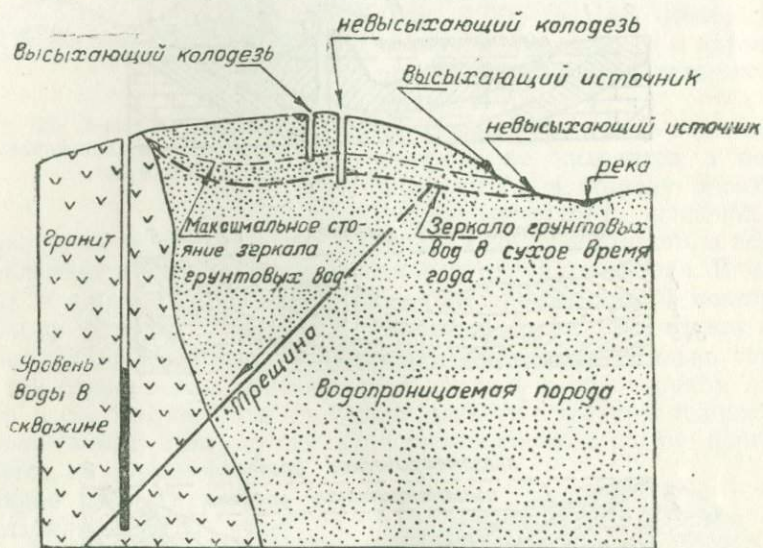


Рис. 128. Условия залегания трещинных напорных и грунтовых вод.

вается, замещаясь водонепроницаемыми мелкозернистыми породами (рис. 127, Б). В областях со сложным геологическим строением возможны другие, самые разнообразные сочетания петрографического состава пород и форм залегания, при которых образуются артезианские воды.

Самонизливающиеся напорные воды могут быть получены бурением только в том случае, если абсолютная отметка места заложения бурового колодца будет ниже пьезометрического уровня водоносного пласта. Так, из одного и того же слоя, колодец *a* (рис. 127, А) даст фонтанирующую воду, а в колодце *б* она поднимется только до пьезометрического уровня.

Если свита состоит из чередующихся между собой водопроницаемых и водоупорных пластов, то может образоваться несколько расположенных друг над другом, не сообщающихся между собой напорных водоносных горизонтов (рис. 127, В). Из рисунка видно, что пьезометрический уровень более глубоко за-

легающего водоносного горизонта (пласт 2) может быть выше, чем у горизонта, расположенного над ним (пласт 1).

Трещинные воды заполняют зияющие трещины в водоупорных породах. По своему характеру они могут быть как грунтовые, так и межпластовые. Грунтовые трещинные воды связаны обычно с трещинами выветривания выходящих на поверхность массивных пород. Так как с глубиной количество этих трещин уменьшается, то и водообильность массивных пород падает. Трещинные воды межпластового типа образуются в том случае, если трещиноватая порода перекрыта свитой других пластов или пересекается тектоническими трещинами. В последнем случае также могут быть получены напорные воды (рис. 128).

Так как атмосферная вода обычно поступает непосредственно в трещины, то на режиме трещинных грунтовых вод очень резко сказывается влияние гидрометеорологических факторов. Колебания зеркала и температуры у трещинных подземных вод гораздо больше, чем у пластовых. С санитарной точки зрения трещинные воды менее надежны, так как здесь отсутствует фильтрация через пористую породу, во время которой вода очищается от механических примесей и болезнетворных бактерий. Разведка трещинных вод связана с большими трудностями. Из двух рядом пройденных колодцев, один может дать воду, а другой, прошедший мимо трещины, может оказаться сухим. В этом случае иногда делают взрывы, чтобы образовались трещины, по которым вода могла бы поступать в колодец.

Источники, или родники. Источниками, или родниками, называются естественные выходы подземных вод на поверхность земли. При этом вода может сочиться по всей поверхности выходящего водоносного пласта или вытекать в виде ручейка. Характер выхода источников на поверхность, дебит воды (количество воды в единицу времени), химический состав и температура ее весьма разнообразны и определяются гидрогеологическими условиями.

По условиям выхода, все источники подразделяются на нисходящие и восходящие. Нисходящими источниками называются такие, вода которых вытекает под влиянием силы тяжести, а восходящими — такие, вода которых поднимается к месту выхода либо в силу гидростатического давления, либо под воздействием газов или пара.

Нисходящие источники образуются тогда, когда грунтовые воды вскрыты речной долиной (рис. 129, А). Если водоупор, подстилающий водоносный слой, имеет неровную поверхность, то родники будут выходить в местах пересечения долиной наиболее низких точек подземного рельефа (рис. 129, Б), причем чем ниже будут расположены источники, тем они будут водообильнее. Выход межпластовых вод в долину дает источники (рис. 129, В), которые, в случае перекрытия склона делювиальным плащом будут выходить у нижней границы делювия (рис. 129, Г). Если гора или холм имеют синклинальное строение и сверху залегает водо-

проницаемый пласт, подстилаемый водоупором, то на последнем, как в блюде будут скапливаться подземные воды, избыточное количество которых будет переливаться через край водоупора, образуя на склоне переливающиеся источники (рис. 129, Д). Трещинные и богатые пустотами породы могут давать перемежающиеся сифонные источники, которые будут

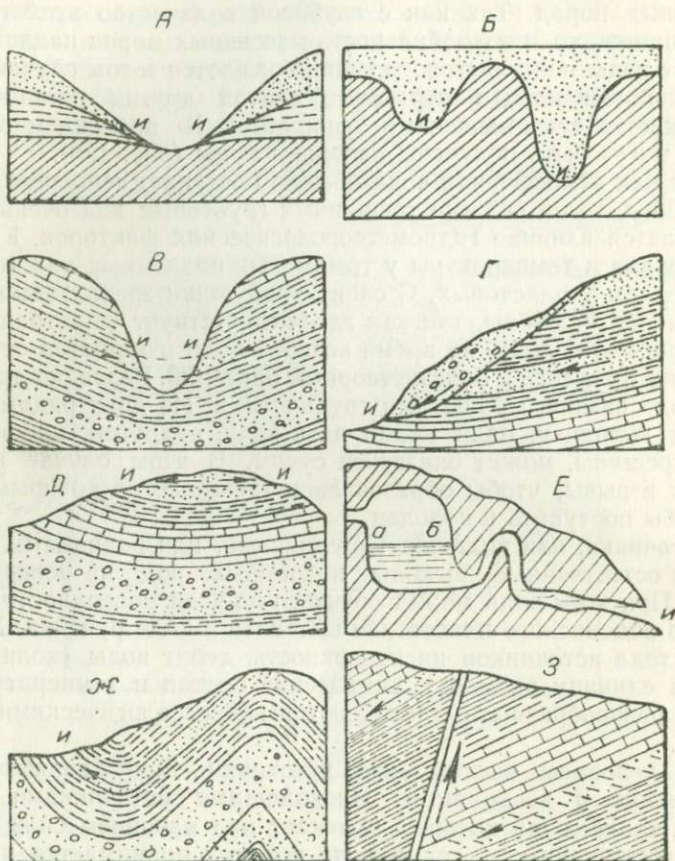


Рис. 129. Источники.

иссякать, как только уровень воды в подземной камере опустится ниже уровня *аб* (рис. 129, Е).

Восходящие источники образуются при вскрытии артезианского горизонта (рис. 129, Ж) или могут выходить вдоль сбросовой трещины, к которой падают водоносные пласты (рис. 129, З). Источники, восходящие под давлением газов, часто встречаются в нефтеносных районах. В вулканических областях многие восходящие источники имеют горячую воду, что указывает на взаимосвязь между ними и остывающими на глубине

интрузивными породами. В Йеллоустонском национальном парке США, в Новой Зеландии и на острове Исландии имеются горячие источники, которые периодически выбрасывают воду на высоту до 100 м и более; это так называемые гейзеры. Такие извержения происходят под давлением большого количества пара, образующегося время от времени из перегретой воды, находящейся под давлением в недрах Земли.

Дебит, химический состав и температура воды источников не остаются в течение года постоянными. Дебит некоторых источников может меняться в 200 раз, что делает их малопригодными для эксплуатации. Если дебит меняется в пределах от 2 до 10 раз, то такой источник считается хорошим. С уменьшением водопроницаемости водоносного слоя увеличивается постоянство дебита. Для таких источников часто снеговые воды бывают важнее для питания, чем дожди. После землетрясений одни трещинные источники часто иссякают, а появляются другие.

Температура воды источников часто может дать указания о происхождении воды. Если температура воды источника выше средней годовой температуры местности, то это указывает, что вода подымается с глубины более 30 м. Большие колебания температуры воды говорят о малой глубине залегания водоносного горизонта, питающего источник, и о большой скорости инфильтрации. Постоянство температуры воды источника указывает на медленность процесса инфильтрации, а отсутствие влияния температуры воды реки на температуру источника, выходящего в долине, доказывает независимость воды источника от реки.

Такие же ценные указания на источники питания подземных вод и на пути их следования дают химические анализы.

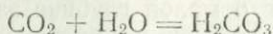
Мероприятия по сбору воды источников для использования ее в промышленности и сельском хозяйстве называются каптажом. В том случае, когда дебит источника круглый год удовлетворяет потребность в воде, каптаж ограничивается обделкой источника, позволяющей удобное получение воды и предупреждающей ее загрязнение. В противном случае необходимо облегчить выход воде и увеличить тем самым дебит. В зависимости от характера источника и водоносных пород, а также геологических условий, в каждом отдельном случае каптаж будет иметь свои индивидуальные особенности. Очень распространен метод каптажа с помощью канав и штолен — горизонтальных туннелевидных выработок с одним выходом. Штольня или канава проходятся перпендикулярно направлению подземного потока, за счет которого питается источник, и тем самым увеличивают его дебит. Часто воду нескольких источников с помощью канав или штолен отводят к наиболее низко расположенному из них, увеличивая его дебит за счет соседних. Очевидно, что для целесообразного проектирования каптажа в каждом отдельном случае необходимо предварительно произвести исследования, которые должны дать ясное представление о гидрогеологических условиях в районе каптажируемого источника.

Химическая деятельность подземных вод — карстовые явления.

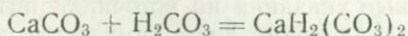
От других геологических агентов экзогенных сил подземные воды отличаются большим значением их химической деятельности. Хотя процесс растворения горных пород происходит сравнительно медленно, но, протекая непрерывно в течение длительного времени, он приводит к значительным изменениям в строении горных пород. В химической деятельности подземных вод, также как и в деятельности других агентов, имеют место разрушение, перенос и отложение.

Растворяющая деятельность воды начинается как только она приходит в соприкосновение с горными породами. Растворимые части пород вода уносит с собой, а нерастворимые остаются в виде элювиальных глинистых скоплений. Характер растворенных веществ зависит от химического состава горных пород. Наиболее часто в подземных водах встречаются: а) карбонат и сульфат кальция, б) коллоид кремния, в) карбонат, сульфат и хлорид натрия и г) карбонат магния.

Самой распространенной среди подземных вод является углекислая, т. е. содержащая двуокись углерода (CO_2), которая в соединении с водой дает угольную кислоту:



При воздействии угольной кислоты на известняк (CaCO_3) или на доломит ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) образуется переходящий в раствор бикарбонат кальция или магния:



Сульфатный тип подземных вод встречается реже, хотя, благодаря широкому распространению таких минералов, как гипс и ирит, некоторое количество сульфатов наблюдается почти всегда. Довольно часто встречаются также воды, содержащие хлор.

Растворимый материал воды получают из самых разнообразных горных пород, но надо заметить, что изверженные и глинистые породы растворимы сравнительно мало. Наиболее интенсивно растворяющая деятельность подземных вод проявляется при соприкосновении с известняками, доломитами и гипсами. В местах соприкосновения с водой поверхность этих пород принимает шероховатый, кавернозный характер. Для мономинеральных пород, как, например, известняки, это объясняется различными размерами минеральных зерен, а для полиминеральных пород, кроме того, — различной растворимостью отдельных минералов. Трещины в этих породах быстро расширяются и превращаются в соединенные между собой пустоты различных размеров. При этом образуются длинные подземные ходы, называемые пещерами. Длина пещер иногда измеряется километрами, а высота десятками метров. По дну пещер протекают обычно подземные реки, а в понижениях дна некоторых пещер имеются даже озера. Часто в пещерах происходит конденсация влаги из воздуха

в виде снега и льда. Такие пещеры, называемые пещерами ледниками, известны как на севере, так и на юге, например на р. Мае в Якутской области, в Крыму и на Кавказе. В СССР давно исследована Кунгурская пещера в Молотовской области, хорошо известны Елецкие и Индерские пещеры в Чкаловской области, Залучские — близ Каменец-Подольска, служившие в прошлом столетии убежищем при нападении турок, и др.

С течением времени число и размеры пустот в растворимых горных породах возрастают. Местами потолки в пещерах становятся настолько тонкими, что не выдерживают собственной тяжести и обваливаются (рис.

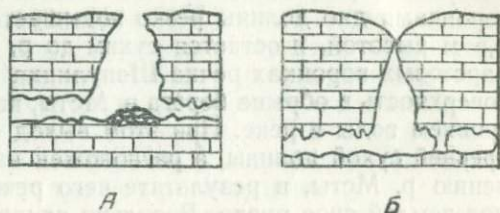


Рис. 130. Образование карстовых воронок: А — обвал кровли, Б — растворение кровли.

130, А), местами же вода проникает внутрь по вертикальным трещинам, постепенно расширяя их (рис. 130, Б). В конце концов на поверхности образуются своеобразные воронкообразные углубления, называемые карстовыми воронками.

Совокупность процессов растворения, образования пустот и провалов поверхности над ними носит название карстовых явлений или карста.

Размеры карстовых воронок колеблются обычно в сравнительно узких пределах: диаметр их большей частью равен 20—25 м, а глубина 5—15 м. Только иногда диаметр воронок достигает 100—200 м, причем они принимают форму блюдцеобразных впадин.

Часто на дне большой карстовой воронки наблюдается несколько малых, каждая из которых является входом в отдельный канал, проводящий поверхностные воды в подземные пустоты (рис. 131). В районах с сильно развитыми карстовыми явлениями число воронок достигает 100—200 штук на 1 км². Все понижения, как правило, усеяны воронками самых разнообразных размеров и формы. В долинах рек воронки обычно вытянуты вдоль долины. Иногда воронки частично, а затем полностью поглощают воду реки, которая, уходя в воронки, превращается в подземный поток. Так, например, приток р. Мсты — речка Шапулинка в верховьях не имеет следов карстовых явлений, которые

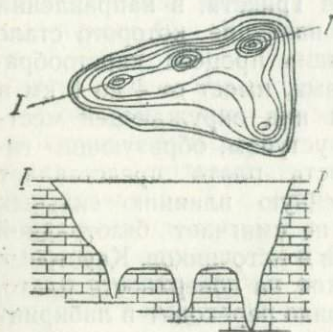


Рис. 131. Сложная карстовая воронка (бассейн р. Мсты).

понижения, как правило, усеяны воронками самых разнообразных размеров и формы. В долинах рек воронки обычно вытянуты вдоль долины. Иногда воронки частично, а затем полностью поглощают воду реки, которая, уходя в воронки, превращается в подземный поток. Так, например, приток р. Мсты — речка Шапулинка в верховьях не имеет следов карстовых явлений, которые

ниже начинают встречаться все чаще и чаще. В месте ухода речки под землю она разделяется на два рукава, на дне которых имеется ряд карстовых воронок. В одни из них вода падает с шумом, исчезая в трещинах известняка, в других же вода образует маленькие озера, медленно просачиваясь через наносы, прикрывающие дно.

Вследствие растворяющей деятельности воды, видимый в некоторых воронках известняк имеет ноздреватое строение. За воронками дно долины резко повышается, образуя уступ в 1,0—1,5 м высотой, и остается сухим до р. Мсты. Исчезнувшая же в карстовых воронках речка Шапулинка выходит через 1,5 км на поверхность в обрыве берега р. Мсты, на высоте около 5—6 м над уровнем воды в реке. При этом выход ее не совпадает с устьем древней сухой долины, а расположен на 200—300 м вверх по течению р. Мсты, в результате чего речка Шапулинка спрямила под землей свое русло. В сильно закарстованных областях прибалканских стран некоторые реки на больших расстояниях текут под землей. Например, р. Пойк в бассейне р. Савы из всей длины в 85 км имеет 20 км подземного русла.

Чем ближе к поверхности земли залегают карстующиеся породы, тем резче в рельефе местности выражены карстовые формы. Отсутствие наносов позволяет поверхностным водам без труда уходить вглубь и закарстованный район из-за недостатка влаги принимает полупустынный характер.

Классическим примером развития карстового ландшафта служат области, расположенные по северо-восточному побережью Адриатического моря. Здесь восточнее Триеста, в направлении СЗ—ЮВ, протягивается плато Карст, название которого стало нарицательным словом, характеризующим процесс карстообразования. Это плато сложено известняками, имеет от 4 до 6 км в ширину и на 100—300 м возвышается над окружающей местностью, к которой спускается крутым уступом, образующим гигантскую каменную стену. Поверхность плато представляет сухую каменистую пустыню, подверженную влиянию сильных ветров. Убогая растительность почти не смягчает безотрадной картины этой местности без рек, ручьев и источников. Карстовые воронки здесь отчетливо вырисовываются на поверхности плато, достигая больших размеров, и как правило переходят в лабиринт подземных галлерей и пещер. Между понижениями возвышаются небольшие каменные холмы и поднятия.

В Ленинградской области и в других закарстованных районах СССР провальные формы карстового рельефа смягчаются перекрывающимися известняки ледниковыми отложениями.

Процесс карстообразования, так же как и эрозионный процесс, имеет свой базис. Этим базисом служит зеркало подземных вод, ниже которого все пустоты в породе заполнены водой и свободное течение воды по трещинам отсутствует. В связи с этим карстовые формы наиболее характерны для приподнятых плато, где подземные воды залегают глубоко от поверхности.

В случае понижения зеркала подземных вод, карстовые явления распространяются вглубь до нового положения зеркала вод. При повышении уровня подземных вод процесс карстообразования продолжает протекать только над новым зеркалом.

Кроме положения уровня подземных вод, интенсивность процесса карстообразования определяется целым рядом факторов. Главнейшим из них является растворимость горных пород. Породами, в которых наблюдаются явления карста, по убывающей степени растворимости будут: каменная соль (1 часть растворяется в 3 частях воды), гипс (1 часть растворяется в 480 частях воды), ангидрит, доломит и известняк (1 часть растворяется в 30 000 частях воды). Растворяющая способность воды зависит от количества агрессивной углекислоты в ней, а также от температуры. Чем больше уклоны и скорости подземных потоков, тем более интенсивно проходит процесс растворения.

Так как гипс сравнительно легко растворим и имеет широкое распространение в северо-восточных областях Европейской части Советского Союза, то гипсовый карст представляет здесь много трудностей при инженерных работах. Неблагоприятные инженерно-геологические условия в областях развития гипсового карста увеличиваются еще тем, что залежи гипса обычно сопровождаются ангидритом, который при соприкосновении с водой переходит в гипс, увеличиваясь в объеме на 7,5%. Возникающие при этом напряжения приводят к таким нарушениям в залегании грунтов, что сооружения если не разрушаются полностью, то подвергаются сильным деформациям.

Карстовые явления широко развиты в различных областях Советского Союза: Ленинградской, Псковской, Тульской, Рязанской, Горьковской, Чкаловской, Молотовской, Уфимской, Минусинском крае, Туркестане, Крыму и др.

При возведении различных гидротехнических сооружений в закарстованных районах требуется исключительная осторожность и тщательность в проведении инженерно-геологических исследований. Так, например, только после очень тщательных изысканий удалось выбрать место под плотину при постройке гидроэлектростанции в среднем течении реки, так как был получен ряд указаний, что вода по карстовым пустотам может пойти в обход плотины. При проведении каналов и туннелей карст также является причиной ряда неприятных неожиданностей. Например, при проведении деривационного туннеля на р. Рионе около Кутаиси пересекли карстовую пещеру, поперечное сечение которой было 30×20 м, а при устройстве железной дороги между Римом и Неаполем туннель, пересекающий гору Монте Орсо, врезался в потолок пещеры, высота которой достигала 50 м. Трассу дороги пришлось изменить. Даже в районах, которые не считаются карстовыми, иногда встречаются пустоты, как это имело место при постройке Московского метрополитена.

Особую форму карста представляет глиняный карст. Он образуется в глиняных породах и главным образом в лессах

Средней Азии, а также в восточном Закавказьи. Вертикальные каналы в лессовидных грунтах и ходы землероев служат путями, по которым вода выпадающих здесь в виде ливней дождей беспрепятственно поступает вглубь. Она одновременно растворяет соли, которыми богаты лессы, и выносит мелкий глинистый материал во взвешенном состоянии. Таким образом, при глиняных карстах процесс растворения и механического разрушения породы тесно переплетаются между собой. При карсте же в крепких породах механическая деятельность воды заметно сказывается только тогда, когда по пустотам текут настоящие подземные ручьи и реки. На поверхности глиняный карст сначала появляется в виде отдельных вертикальных колодцев диаметром от 0,5 до 2 м, причем каждый колодец имеет в склоне оврага выводное отверстие, через которое выносятся разрушенная порода. В дальнейшем число колодцев-шахт и размеры их увеличиваются. Затем промежутки между шахтами образуют всякие мосты, после обвала которых шахты соединяются в сплошные галереи. В последней стадии карстового процесса галерея превращается в овраг, часто слепой, т. е. имеющий выводное отверстие в стене, отделяющей его устье от долины, в которую он впадает. Иногда наблюдаются и другие формы глиняного карста: цирковидные впадины, пещеры, туннели и т. п. Глиняный карст приносит много вреда на оросительных каналах ирригационной сети Средней Азии. Карст этого типа являлся главным препятствием при утверждении проекта постройки высокой плотины на р. Куре, пока изысканиями не было установлено, что он на нижнюю часть долины реки не распространяется.

Борьба с карстованием очень трудная, дорого стоит и не всегда дает положительные результаты. Она может идти по трем направлениям: 1) путем перекрытия различными пластырями выходов карстующихся пород на поверхность; в этом случае исключается поступление новых партий поверхностных вод и процесс карстования приостанавливается; 2) заделкой подземных пустот крупным песком, щебнем, сухой кладкой, бетоном или асфальтом; последний способ был применен в практике инженерного дела и дал положительный результат, но оказался экономически невыгодным; 3) путем отвода подземных вод, что возможно только тогда, когда работы по отводу несложны и недороги. Трудность борьбы с карстовыми процессами указывает на то, что при выборе трассы канала, туннеля, дороги и т. п. нужно стараться избегать закарстованных районов.

Перенос растворенного материала происходит вдоль пустот и трещин, взаимно пересекающихся под разными углами. В известняках, песчаниках, туфах и других горных породах вода передвигается во всех направлениях. Часто она входит по одной системе трещины, а выходит по другой. Вследствие этого туннели и горные выработки иногда сотни метров проходят в сухих, хотя и трещиноватых породах, а затем встречают трещину с большим притоком воды.

Отложение растворенного материала подземные воды производят или внутри горных пород, или, выходя на поверхность в виде источников, уносят его в моря и океаны, как поверхностные воды. Главнейшими причинами выпадения растворенных веществ из подземных вод являются: 1) потеря углекислого газа при выходе воды на поверхность вследствие падения давления; выделение углекислого газа при этом происходит иногда так интенсивно, что вода источника как бы кипит, причем растворяющая способность воды падает настолько сильно, что предметы, погруженные в воду таких родников, в течение суток покрываются коркой углекислого кальция, выпавшего из раствора; 2) падение температуры, что особенно хорошо выражено при выходе на поверхность горячих источников; 3) испарение, которое происходит в сухое время года при неглубоком залегании подземных вод и может явиться причиной выпадения всего растворенного вещества; 4) смешение разных растворов, во время которого могут образоваться новые нерастворимые вещества; благоприятные условия для такого смешения наблюдаются при пересечении отдельных систем водоносных трещин.

Отложение подземными водами в первую очередь происходит в промежутках между отдельными зернами, т. е. в порах горных пород. При этом наблюдается цементация рыхлого материала и образование цементированных горных пород. Большинство песчаников образовалось таким путем. Наиболее часто из подземных вод выпадают: углекислота, коллоидальная кремнекислота и окись железа; цементируя пласты песка, они соответственно дают известковистый, кремнистый и железистый песчаники.

Другим местом для отложения служат трещины, в результате заполнения которых образуются жилы. Эти жилы большей частью сложены кальцитом и в отличие от жил изверженных горных пород редко содержат драгоценные полезные ископаемые. На стенках небольших круглых или неправильной формы пустот также происходит образование кристаллов кальцита, гипса и т. п. Они дают характерные оторочки, называемые жеодами. Свообразными отложениями кальцита являются также сталактиты и сталагмиты, встречающиеся в больших пустотах и пещерах (рис. 40).

Большой практический интерес представляют химические осадки подземных вод на поверхности земли, которыми являются отложения источников и гейзеров. Выпадение из раствора в дан-

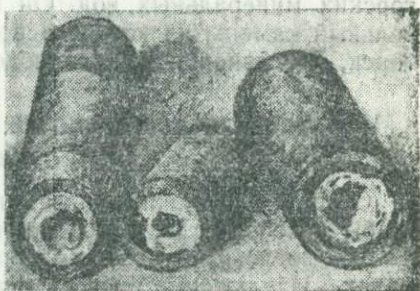


Рис. 132. Отложение углекислой извести на внутренних стенках водопроводных труб.

ном случае происходит главным образом вследствие падения температуры и потери углекислого газа, реже — в результате испарения. Отложение иногда происходит так быстро, что создает ряд трудностей при использовании вод. Так, например, на внутренних стенках труб, подводящих воду из одного из источников в баню, ежегодно образуется толстый слой углекислой извести (рис. 132). Образования, возникающие при химическом выпадении веществ из воды источников, выходящих на поверхность земли, создают целые горы. Более плотные разновидности этих своеобразных горных пород называются травертином, а пористые и ноздреватые — известковым туфом.

Большие отложения известкового туфа в СССР известны у Гатчины и у Петродворца около Ленинграда. Разрабатываемый здесь туф очень порист и как строительный камень не годится, а идет на изготовление внутренних украшений. Особенно большие залежи плотного травертина имеются на Кавказе в районе Пятигорских минеральных вод. Он представляет прекрасный строительный камень, из которого построены здания в городах Пятигорск, Железноводск, Кисловодск и др.

Механическая деятельность подземных вод — оползни и обвалы

Скорости движения подземных вод слишком малы для того, чтобы непосредственное механическое воздействие подземного потока могло разрушающим образом сказываться на горных породах. Исключение представляют только широкие трещины и карстовые пустоты, где движение воды уподобляется движению в русле рек и каналов. В сочетании с химической деятельностью, подземные воды проделывают в этих условиях большую геологическую работу, которая изменяет строение пород и формы рельефа на больших площадях. Тем не менее и подчиняющиеся законам ламинарного движения воды в пористых породах при соответствующих условиях могут нарушить залегание пород, причиняя инженерам много хлопот и забот. В данном случае нарушения происходят вследствие изменения физико-механических свойств многих горных пород при наличии воды в их порах.

Это обстоятельство, а также необходимость оценивать горные породы по воздействию инженерных сооружений на их физико-механические свойства побудили к составлению специальной классификации горных пород. При составлении этой классификации горные породы рассматриваются только как физическое тело, вне зависимости от условий залегания и происхождения, и получают название грунтов. Главнейшими свойствами, по которым классифицируются грунты, являются те, которые обуславливают наличие или отсутствие сцепности между отдельными частицами, слагающими грунт. Сюда относятся: сцепление отдельных минералов в изверженных и метаморфических горных породах, цементация в осадочных породах и связность в тонко-

зернистых глинистых породах, обусловленная силами сцепления и капиллярного натяжения. Кроме того, оцениваются: а) сжимаемость, б) прочность — временное сопротивление на раздавливание, в) крепость — сопротивление грунта при его разработке, которое зависит от целого ряда свойств грунта, г) трение между отдельными частицами, д) свойства, определяющие отношение грунта к воде: водопроницаемость, влагоемкость, капиллярность и растворимость.

Опираясь на эти свойства, в механике грунтов, которая изучает горные породы только как физические тела, выделяется три основных группы грунтов: скальные, связные и несвязные и две промежуточных: полускальные и особого состава и состояния (табл. 6).

Из табл. 6 видно, что скальные и полускальные грунты инертны по отношению к воде и при соприкосновении с нею своих физико-механических свойств практически не меняют. Более всего зависят от наличия воды свойства связных грунтов, так как степень и характер связности находятся в тесной взаимосвязи с влажностью грунта. На свойства рыхлых пород вода также может оказывать сильное влияние; например, перенасыщенные водой пылеватые грунты превращаются в пльвуны и переходят в группу грунтов особого состояния.

Таким образом, классификация грунтов указывает, что в связных, рыхлых и в грунтах особого состава и состояния должно ожидать сильных изменений при поступлении в них подземных вод. Эти изменения могут быть настолько значительными, что находившийся ранее в устойчивом равновесии склон приходит в движение и грунтовые массы перемещаются сверху вниз.

Факторами, противодействующими смещению в связных грунтах, являются трение и сцепление, а в несвязных рыхлых грунтах — только трение. Сила тяжести в противовес трению и сцеплению стремится сдвинуть грунтовый массив. Следовательно, если косогор сложен несвязными рыхлыми грунтами, то на каждую частицу на его поверхности будет действовать сила трения F и сила тяжести P (рис. 133). По правилу параллелограмма сила P может быть разложена на слагающую Q , стремящуюся сдвинуть частицу вниз по откосу, и N , придавливающую частицу к откосу. При этом:

$$Q = P \sin \alpha \quad (10)$$

а

$$N = P \cos \alpha \quad (11)$$

где α — угол, образованный вертикалью с слагающей N , которая перпендикулярна к поверхности косогора. В то же время угол α равен углу откоса, так как $\angle ABC = \angle DEK$; как углы с взаимно

Классификация грунтов

Группа	Название грунтов	Физико-техническая характеристика	Горные породы, которыми представлена группа грунтов
I	Скальные	<p>Твердые, компактные, практически несжимаемые; временное сопротивление сжатию 500—3500 кг/см². Допускаемые нагрузки 15—40 кг/см². В качестве оснований пригодны для всех тяжелых сооружений.</p> <p>Крепкие — требуют при разработке применения взрывчатых веществ. В карьерах и выемках допускают даже вертикальные откосы.</p> <p>Невлагоемкие и сами по себе водонепроницаемые. Проницаемы только по трещинам</p>	Изверженные, метаморфические и крепко сцементированные осадочные породы
II	Полускальные	<p>Довольно твердые компактные, слабо сжимаемые; временное сопротивление сжатию 50—500 кг/см². Допускаемые нагрузки 5—15 кг/см². В качестве оснований пригодны для средних и тяжелых сооружений.</p> <p>Средней крепости — требуют при разработке кайла, лома или взрывчатых веществ. В выемках и карьерах допускаются откосы, в зависимости от степени выветрелости и трещиноватости, до вертикальных.</p> <p>Слабо и средневлагоемкие. Сами по себе слабо водонепроницаемы, но водонепроницаемы по трещинам</p>	Более слабые или несколько выветрелые разновидности изверженных, метаморфических и сцементированных осадочных пород, а также кристаллические химические осадочные породы
		<p>Мягкие, пластичные, сложенные из мелких частиц от < 0,005 мм до 0,05 мм. Сильно сжимаемы, как при давлении, так и при высыхании за счет уменьшения пористости и выжимания воды — сжатие происходит медленно. Пористость в сухом состоянии 40—55%. Допускаемые нагрузки от 0,5 до 6 кг/см². В качестве оснований</p>	

Группа	Название грунтов	Физико-техническая характеристика	Горные породы, которыми представлена группа грунтов
III	связные	<p>пригодны, в зависимости от уплотнения и влажности, для средних и легких сооружений</p> <p>Крепость небольшая и сильно уменьшается с увеличением влажности; разработка возможна с помощью заступа, кайла и лома. В выемках и карьерах крутизна и высота откосов зависят от влажности, с увеличением которой сильно уменьшается связность, и наличия солей; в сухом состоянии могут иметь вертикальные откосы.</p> <p>Сильно влагоемкие, а в зависимости от пористости и крупности частиц от средне-водопроницаемых (лёсс) до практически водонепроницаемых (глина). Обладают высокой капиллярной способностью и пластичностью</p>	Глины, суглинки и лёсс
IV	Несвязные, рыхлые	<p>Рыхлые, сложенные из грубозернистых и среднезернистых частиц (от 0,05 мм крупнее). Несжимаемы, за исключением слабо уплотненных разновидностей, когда сжатие возможно за счет рыхлого сложения. Процесс сжатия происходит очень быстро, следуя сейчас же за приложением нагрузки.</p> <p>Пористость 30—35%. Допускаемые нагрузки от 0,5 до 6 кг/см². В качестве оснований пригодны для средних сооружений.</p> <p>Разработка возможна вручную и механическим способом. В выемках и карьерах держат откосы в 30—40°, причем высота откоса не зависит от его угла.</p> <p>Невлагоемкие, хорошо водопроницаемые; движение воды имеет ламинарный характер.</p>	Щебень, валуны, галька, гравий, дресва и пески различной крупности зерна
V	Особого состава и состояния	Особенно слабые грунты III и IV групп, обладающие специфическими непостоянными физико-техническими свойствами. В каждом отдельном случае требуют при оценке особого подхода.	Почвы, торфы, соленые мягкие и рыхлые грунты, плавуньи и искусственно насыпанный культурный слой

перпендикулярными сторонами (рис. 133). Разделив (10) на (11), имеем:

$$\frac{Q}{N} = \frac{P \sin \alpha}{P \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha$$

откуда

$$Q = N \operatorname{tg} \alpha \quad (12)$$

Для того, чтобы частицы грунта начали двигаться вниз по откосу, необходимо чтобы сила Q преодолела силу трения F , действующую в противоположном направлении. Очевидно, что при $Q > F$ будет происходить смещение грунта по косогору, при $Q = F$ косогор будет находиться в неустойчивом равновесии и при $Q < F$ косогор будет в устойчивом состоянии.

Из механики грунтов известно, что сила трения равна прижи-

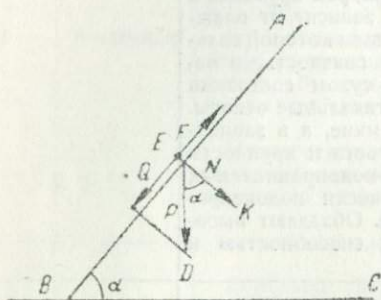


Рис. 133. Условия устойчивости склона, сложенного несвязными рыхлыми грунтами.

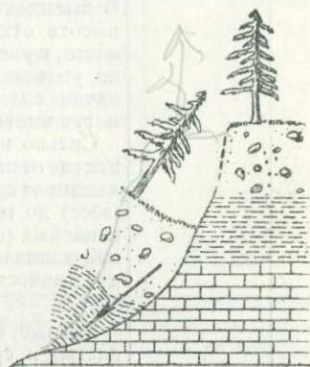


Рис. 134. Делящийся оползень.

мающей силе, умноженной на коэффициент внутреннего трения грунта

$$f = \operatorname{tg} \varphi$$

где φ — угол внутреннего трения грунта.

Следовательно:

$$F = Nf = N \operatorname{tg} \varphi \quad (13)$$

При неустойчивом равновесии Q должно быть равно F (рис. 133), а следовательно из (12) и (13)

$$N \operatorname{tg} \alpha = N \operatorname{tg} \varphi \text{ или } \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi$$

При устойчивом равновесии $Q < F$, т. е.

$$N \operatorname{tg} \alpha < N \operatorname{tg} \varphi \text{ или } \operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \varphi$$

Таким образом, устойчивость откоса, сложенного несвязными рыхлыми грунтами, будет обеспечена, если угол откоса α будет меньше угла внутреннего трения грунта, который для рыхлых песков обычно близок к 30° . При большем угле откоса происхо-

дит смещение косогора. В связных грунтах, кроме трения, массы на косогоре удерживаются капиллярным натяжением и сцеплением, которое особенно велико в сухих грунтах. Этим объясняется тот факт, что глина и суглинки в сухом состоянии могут держать вертикальные откосы, которые при увлажнении обрушиваются.

Смещение грунтов по склону может происходить в виде скольжения потерявших равновесие массивов, с запрокидыванием в сторону, обратную направлению движения (рис. 134). Такое перемещение вниз по склону называется оползнем и может протекать как очень медленно, так и с катастрофической быстротой. В случаях когда оторвавшиеся массы грунта не скользят по склону, а опрокидываясь, быстро низвергаются вниз, явление называется обвалом и всегда носит катастрофический характер.

Оползни. Оползни очень широко развиты в горных районах, по склонам речных долин и вдоль берегов морей и озер. Они являются одним из самых часто встречающихся геологических процессов, приносящих крупнейшие убытки. В результате оползней разрушаются различные гидротехнические сооружения, железные и шоссейные дороги, промышленные и жилые дома; гибнут огромные площади ценных сельскохозяйственных угодий и т. д. (рис. 1). Убытки, приносимые оползнями государству и населению, настолько значительны, что у нас в СССР давно работают специальные станции по исследованию оползней и создаются особые государственные комиссии по изучению оползней и принятию целесообразных мероприятий по борьбе с ними. Перед второй мировой войной к организации аналогичных правительственных комиссий было приступлено в Швейцарии и Италии.

Для того, чтобы иметь возможность правильно спроектировать меры борьбы с оползнем, необходимо знать: 1) геологическое строение оползневого склона, 2) причины неустойчивости оползающего массива, 3) факторы, способствующие проявлению оползания, 4) характер движения оползня, 5) глубину, на которую склон захвачен оползнем, 6) время проявления и 7) состояние оползня.

Оползанию косогора обыкновенно предшествует образование трещин и отрывов на его поверхности (рис. 135). В результате смещения по трещинам, возникают дугообразные вертикальные или почти вертикальные уступы, на участках между которыми образуются оползневые террасы. Вследствие запрокидывания сползающих массивов, поверхность оползневых террас часто понижается в сторону, обратную направлению движения оползня (рис. 134). На территории оползня на склоне возникает циркулярное понижение, называемое оползневым цирком (рис. 135).

На хроническое оползание косогора, кроме оползневых террас, указывает также так называемый «пьяный лес» с выгнутыми в сторону склона стволами. Такое искривление деревьев происходит вследствие того, что, будучи наклонены при сползании, они

продолжают расти вертикально. Наклонные телеграфные столбы и строения, нарушенный характер тропинок и т. д. также свидетельствуют о неустойчивости косогора.

Поверхность, по которой происходит отрыв и смещение грунтовых масс вниз, называется поверхностью скольжения. Она несет следы штриховки и полировки от трения оползающей породы по остающейся на месте. При этом образуются характерные зеркала скольжения. В однородных породах

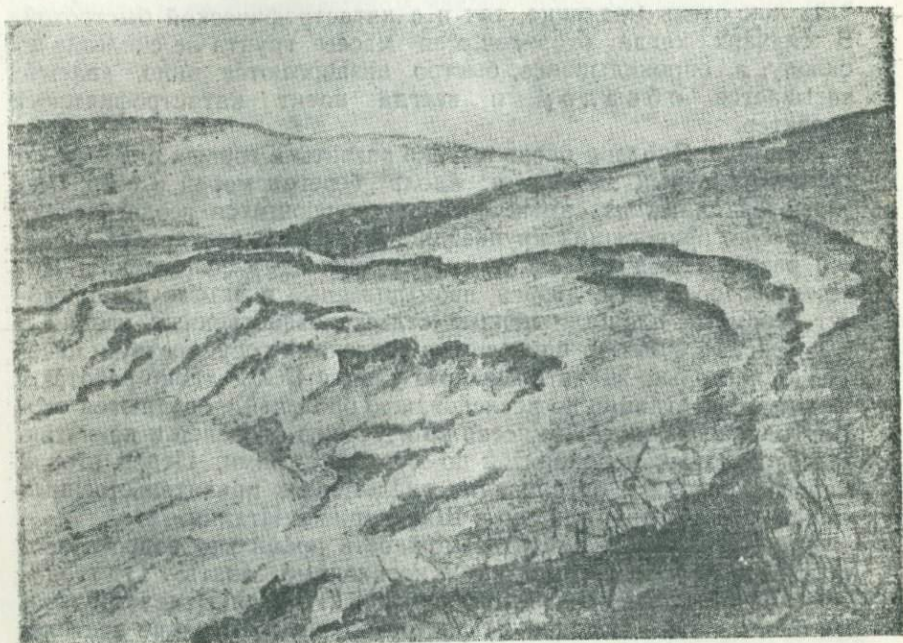


Рис. 135. Трещины отрыва на оползне.

поверхность скольжения представляется в виде плавной кривой, близкой по своей форме к цилиндрической поверхности, за которую при практических расчетах часто и принимается. При неоднородных грунтах поверхность скольжения имеет часто волнистый или даже ломаный характер и в этом случае она внизу более пологая, а сверху более крутая (рис. 134).

Место выхода поверхности скольжения называется подошвой оползня. Когда подошва оползня совпадает с подошвой склона или находится выше его, то оползание косогора начинается снизу, так как здесь ничто не препятствует смещению грунтовых масс. После того как начинает двигаться нижняя часть склона, верхняя теряет упор и тоже приходит в движение. Таким образом, движение распространяется снизу вверх и постепенно оползень

захватывает весь склон (рис. 136, А и 134); при таком характере движения оползень называется **деляпсивным**.

В других случаях подошва оползня выходит дальше подошвы склона, а поверхность скольжения опускается ниже ее. При таком сочетании поверхности косогора и поверхности скольжения сползанию грунтовых масс оказывает препятствие естественный

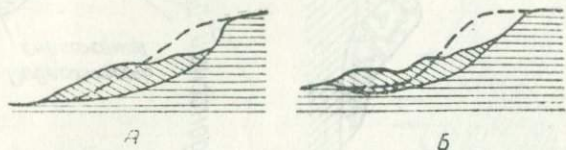


Рис. 136. Схема деляпсивного и детрузивного оползней: А — деляпсивный оползень (подошва оползня совпадает с подошвой склона); Б — детрузивный оползень (подошва оползня находится дальше подошвы склона, а поверхность скольжения опускается ниже его).

контрфорс в основании склона. Движение всего склона начинается только тогда, когда отделившиеся по трещинам в верхней части склона глыбы грунта начинают давить на нижнюю часть с такой силой, что преодолевают препятствие в основании косогора. В этом случае движение распространяется сверху вниз и оползень называется **детрузивным** (рис. 136, Б и 137). При детрузивном оползне, вследствие бокового давления и давления снизу вверх, местность ниже подошвы склона становится волнистой. Так, при оползне в 1915 г. дно малой реки Тараханки местами настолько выпятилось, что многие суда, стоявшие на глубоких местах, оказались посаженными на мель, а у парохода, утонувшего 12 лет тому назад, труба поднялась на метр выше поверхности воды. После большого оползня выемки Панамского канала в нем образовался остров, где накануне слой воды был 9 м.



Рис. 137. Детрузивный оползень.

В некоторых случаях, вследствие различных скоростей движения в нижних и верхних частях склона, потерявшая устойчивость при деляпсивном оползне верхняя часть косогора не только смещается вниз, но и давит на нижерасположенные массы. Так образуется оползень смешанного деляпсивно-детрузивного характера.

При любом характере движения оползня, в сползающих массах развиваются значительные динамические напряжения, под действием которых происходит раздробление и перемещение отдельных частей породы относительно друг друга со смятием в

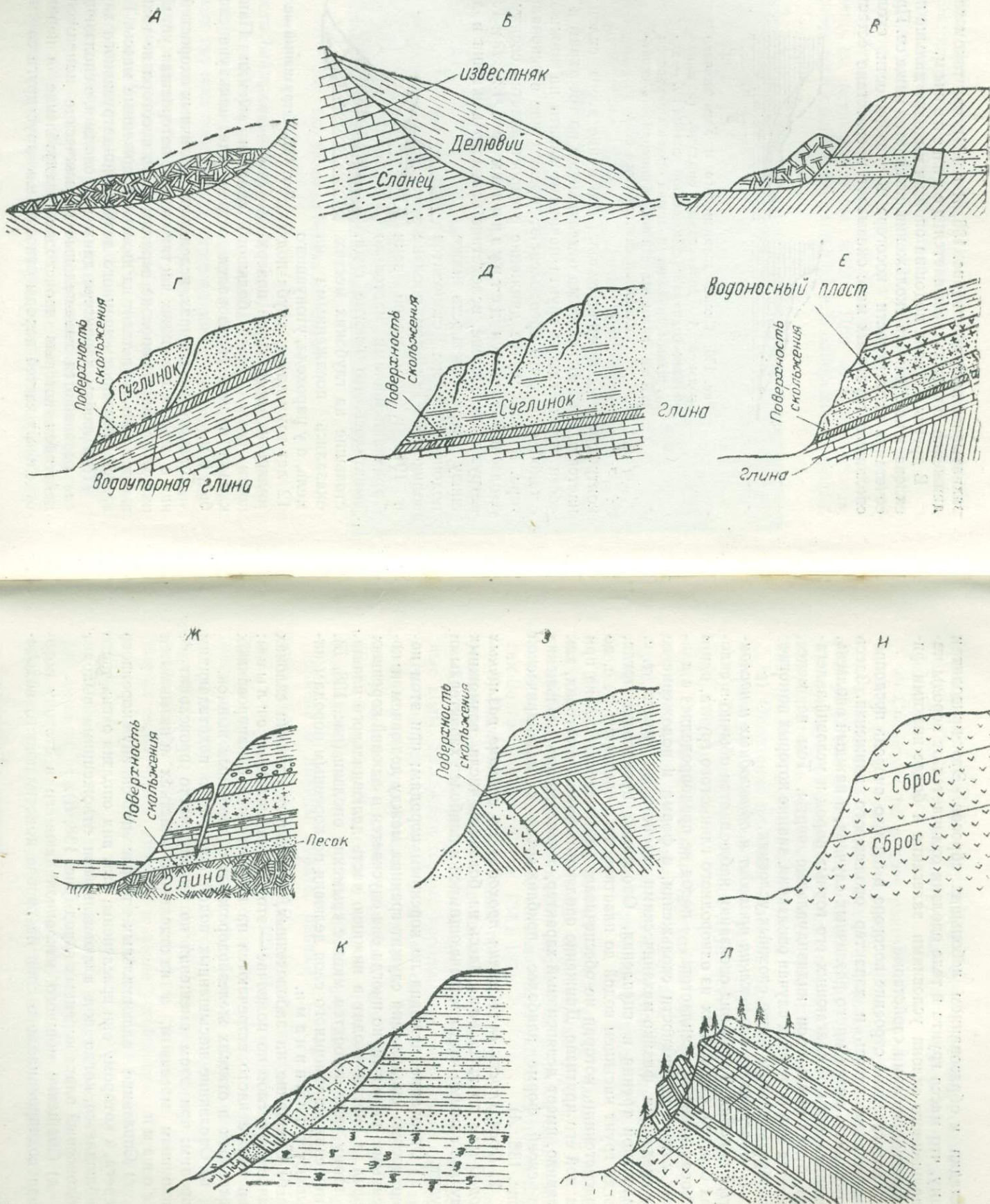


Рис. 188. Зависимость оползней от геологического строения косогора.

складки и образованием небольших сбросов. Это приводит к тому, что масса грунта в теле оползня отличается от породы нарушенного склона условиями залегания и более низкими физико-техническими свойствами.

Геологическое строение косогора в первую очередь предопределяет возможность и характер оползневого движения. Здесь может быть очень много различных случаев, и каждый оползень, в зависимости от слагающих его горных пород и условий залегания, будет иметь свои индивидуальные черты. Тем не менее, имеется три основных случая оползания, знание которых помогает разобраться и при более сложных условиях.

1. *Поверхность скольжения проходит в однородных и несложных породах.* Такой вид оползания наблюдается обычно в склонах берегов, сложенных из однородного глинистого грунта, или в откосах насыпей. Напластование пород не предопределяет в данном случае поверхности скольжения, а форма и положение ее определяются физико-механическими свойствами грунта, т. е. величиной трения и сцепления. Оползание происходит тогда, когда грунт насыщен водой до пластического состояния, т. е. до консистенции, которая не обеспечивает устойчивости склона при данной его крутизне. Движение оползня на таких косогорах, как правило, имеет деляпсивный характер, а поверхность скольжения по своей форме наиболее приближается к цилиндрической (рис. 138, А).

2. *Поверхность скольжения проходит по границе различных пород или по трещинам.* Здесь из большого числа возможных случаев самыми часто встречающимися и наиболее характерными будут:

а) Оползание делювия по коренным породам; при этом поверхностью скольжения служит граница между делювием и коренными породами, но иногда она опускается в элювий коренных пород, а иногда входит в нижнюю часть делювиального плаща. К этому типу относятся многие крымские оползни (рис. 138, Б). Смещения маломощного слоя делювия по коренным породам называют *оплывинами*.

б) Смещение на заболоченных, сложенных глинами склонах почвенного слоя по подпочве — это так называемые *сплывы*; они также часто встречаются на искусственно спланированных косогорах и откосах железнодорожных и дорожных выемок.

в) Оползание насыщенных водой осыпей по подстилающим породам; при этом смещения по склону часто происходят не сплошным массивом, а на отдельных участках и называются *осовами*.

г) Сползание аллювиальных террас по склону коренного берега, к которому они прислонены; этот вид оползня очень часто наблюдается, когда под аллювиальными отложениями выходит водоносный пласт коренных пород (рис. 138, В).

д) Смещение мощного, наклоннопадающего в сторону косогора водопроницаемого слоя по кровле подстилающего водоне-

проницаемого пласта (рис. 138, Г); оползание происходит вследствие смачивания инфильтрующимися с поверхности водами кровли водоупора.

е) Сползание по водонепроницаемым прослойкам и линзам в мощной пласте водопроницаемой породы (рис. 138, Д).

ж) Оползание свиты пластов, падающих в сторону долины. Поверхностью скольжения в этом случае может служить глина, кровля которой приведена в пластическое состояние водой перекрывающего ее водоносного слоя (рис. 138, Е). Чем круче падение, тем более вероятны оползания.

з) Оползание по глине массива наклоннопадающих пластов с отрывом в верхней части по трещине (рис. 138, Ж).

и) Смещение по границе двух несогласно залегающих свит (рис. 138, З).

к) Сползание скальных грунтов по сбросовым трещинам или по трещинам отдельности, падающим в сторону склона (рис. 138, И). В этом случае процессу скольжения способствуют глинистость продуктов выветривания в трещинах и трещинные подземные воды.

3. Поверхность скольжения сечет свиту пластов разного состава. Здесь может быть два характерных случая:

а) Поверхность скольжения пересекает горизонтально залегающие пласты; этого типа оползни часто наблюдаются на берегах Волги (рис. 138, К, рис. 134 и 137).

б) Поверхность скольжения проходит по трещинам в выветрелых головах пластов, падающих от склона (рис. 138, Л).

Главным фактором, вызывающим оползни, являются подземные воды. Увлажняя горные породы, они уменьшают трение и сцепление, способствуя тем самым смещению косогортов, находящихся в неустойчивом равновесии. Кроме того, двигаясь к месту выхода на склоне, подземные воды дают на грунт водоносного пласта. Давление в каждой точке породы равно произведению веса воды в единице объема породы на гидравлический градиент в данном пункте, равный $\frac{h}{l}$, т. е. тангенсу угла, образованного касательной АВ к зеркалу подземных вод в данной точке с горизонтом (рис. 123). Чем мельче материал, слагающий пласт, тем круче поверхность зеркала подземных вод в месте выхода их на поверхность, больше гидравлический градиент и значительнее сила, с которой вода давит на грунт. В результате этого давления, вытекающие из водоносного слоя подземные воды выносят часть материала из пласта, делая тем самым склон более крутым, и менее устойчивым. Процесс выноса частиц грунта вытекающей из него водой называется с у ф о з и е й.

В зависимости от геологических и гидрогеологических условий, питание подземных вод в районе склона может происходить или за счет поступления вод по водоносному межпластовому горизонту (рис. 138, В и рис. 138, Е), или вследствие непосред-

ственной инфильтрации сверху (рис. 138, Г и рис. 138, Д), или за счет вод открытых водоемов, увлажняющих породы в основании склона. Особенно опасны подземные воды, если их свободный выход из водоносного пласта преграждается делювиальными или аллювиальными отложениями (рис. 138, В). В этом случае они не только увлажняют границу между наносами и коренными породами, но еще давят на наносы, в результате создавшегося вследствие подпора гидростатического давления.

При наличии соответствующих геологических и гидрогеологических условий, оползание склона может начаться при увеличении крутизны откоса. Изменение конфигурации косогора происходит естественным путем вследствие подмыва рекой или прибоем на берегах морей и озер, а также в результате земляных работ в основании косогора, связанных с его подрезкой. Такие случаи бывают при устройстве каналов, дорожных выемок и при разработке карьеров в основании склона.

Увеличение нагрузки также часто служит причиной неустойчивости берегового склона. Оно может произойти естественным путем вследствие увлажнения сухого грунта после сильных дождей. Максимальное увеличение нагрузки от этой причины произойдет в том случае, если все поры совершенно сухого грунта будут полностью заполнены водой. Из механики грунтов известно, что объем пор в грунте

$$n = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} \quad (14)$$

где ε — коэффициент пористости, равный отношению объема пор к объему скелета грунта. При объемном весе воды Δ , максимальный дополнительный вес единицы объема грунта после увлажнения будет:

$$\frac{\Delta \varepsilon}{1 + \varepsilon} \quad (15)$$

а полный вес насыщенного водой грунта.

$$\gamma = \delta + \frac{\Delta \varepsilon}{1 + \varepsilon} \quad (16)$$

где δ — объемный вес скелета грунта.

Возведение на склонах тяжелых сооружений, укладка штабелей камня, отсыпка насыпей, и т. п. являются искусственными причинами, вызывающими перегрузку и оползание склонов. Кроме того, причиной оползней могут служить сотрясения при землетрясениях, движении поездов по косогору, вследствие работы двигателей и т. д.

Сползающие к основанию косогора массы грунта создают контрфорс, предохраняя от смещения дальнейшие участки склона (рис. 137). В конце концов склон может снова придти в устойчивое состояние и действующий оползень превращается в недействующий. В случае неосторожного проведения выемок, устройства насыпей, засыпки породой естественного дренажа и т. п. на

старом недействующем оползне, он может снова придти в движение и превратиться в возобновившийся действующий оползень. При возобновлении старого оползня поверхность скольжения может совпадать со старой, но бывают также случаи смещения и по новым поверхностям скольжения. Если все время у основания склона происходит естественное удаление оползшего грунта, как это имеет место у подмываемых берегов рек и морей, то оползень все время остается действующим и захватывает все новые и новые территории часто очень ценных земель. Примером таких оползней служит большинство оползней на р. Волге и одесские оползни, где насчитывается не менее 30 оползневых участков, на которых ежегодно погибает полоса культурных земель в несколько метров шириной.

Оползни предопределяются целым рядом факторов: геологическим строением местности, гидрогеологическими условиями, петрографическим составом и физико-механическими свойствами пород, геоморфологическим строением района, количеством и интенсивностью выпадающих атмосферных осадков, а также деятельностью человека. Только учет всех этих факторов и специфических местных условий дает возможность правильно установить главнейшие причины, вызывающие оползень, и правильно выбрать технические мероприятия по борьбе с ним. В противном случае дорогостоящие противооползневые мероприятия часто не дают должного эффекта, а иногда оказываются даже вредными. Следовательно, прежде всего необходима постановка тщательных всесторонних исследований оползневого района. Так как исследования оползневых явлений требуют производства длительных стационарных наблюдений, то последнее время в особенно важных в экономическом отношении оползневых районах стали организовываться специальные оползневые станции. В 1930 г. такая станция была основана у нас в СССР на южном берегу Крыма. В первую очередь в исследуемом районе производятся детальные топографические, геологические и гидрогеологические съемки, устанавливаются специальные оползневые репера и ведутся стационарные метеорологические и гидрометрические наблюдения. Одновременно, как в полевых, так и в лабораторных условиях производится тщательное изучение физических, механических и химических свойств горных пород, участвующих в оползневых явлениях. Организуется изучение сползающих грунтов, ведется определение сил сцепления при разных условиях и т. п. В то же время ведутся наблюдения за деформациями уже имеющихся сооружений.

Все противооползневые мероприятия, имеющие целью полное или частичное прекращение оползней, подразделяются на профилактические и коренные.

Противооползневые мероприятия профилактического характера могут быть:

а) Урегулирование водного хозяйства оползневого района для избежания чрезмерного увлажнения грунтов. Для этого устанавли-

ливают тщательный технический надзор и производят своевременный ремонт водопровода, канализации, каптажей источников, колодцев, железнодорожных и шоссейных кюветов и других гидротехнических сооружений. В районах, где применяется искусственное орошение, выработывают ограничительные поливные нормы и специальные методы поливки, как, например, дождевание, при котором минимальное количество воды проникает глубоко в грунт. Во избежание чрезмерного насыщения пород водой при арычной системе орошения, магистральные каналы и распределители должны быть по возможности бетонированы.

б) Ограничение разведения пропашных сельскохозяйственных культур с одновременным подбором таких растений, которые бы своими корнями скрепляли землю, предупреждая тем самым образование трещин высыхания и избыточную инфильтрацию атмосферных осадков.

в) Запрещение вырубki леса, так как доказано, что уничтожение древесного покрова приводит к усилению оползневых явлений, или даже к возникновению их там, где их раньше не было.

г) Искусственное облесение склонов, опасных в оползневом отношении.

д) Запрещение или ограничение возведения в оползневых местах тяжелых гражданских и промышленных сооружений, массивных построек, запруд, высоких насыпей и глубоких выемок.

Профилактические мероприятия необходимо проводить планомерно и согласованно, только в этом случае они могут дать положительный результат. Однако, как ни важны профилактические меры борьбы с оползнями, их обычно бывает недостаточно для того, чтобы ликвидировать существующие оползни. Для этого необходимо применение коренных противооползневых мероприятий, направленных к устранению основных причин, вызывающих оползни.

Применяют следующие коренные противооползневые мероприятия: 1) урегулирование поверхностного стока, 2) урегулирование подземного стока, 3) борьба с размывающей деятельностью рек, 4) механическое удержание оползней, 4) уположивание.

1. Мероприятия по урегулированию поверхностного стока имеют целью предотвратить насыщение водой грунта оползневого участка и прилегающих к нему площадей. Эти мероприятия имеют большое значение, так как насыщение грунта водой увеличивает вес оползающего массива, создает боковое гидростатическое давление и изменяет физико-механические свойства грунтов, уменьшая в них силы трения и сцепления. Практика борьбы с оползнями показала, что правильное проведение этих мероприятий дает положительные результаты по закреплению оползней любого типа. Главнейшими из мероприятий этого характера являются: а) отвод поверхностных вод от защищаемого участка, б) регулирование стока по оврагам, ложбинам

и рытвинам и в) непосредственная защита оползневых участков от размыва водой или инфильтрации.

а) Отвод поверхностных вод производится обычно с помощью нагорных канав, а в более сложных случаях прибегают к лоткам или даже трубам. Нагорные канавы проводят параллельно верхнему краю сползающего косогора, причем их ни под каким видом нельзя рыть в грунте действующего оползня. Главная задача нагорных канав — предохранить косогор от размыва и от просачивания атмосферных вод как в грунт действующего оползня, так и в грунт полосы, расположенной между канавой и верхним краем оползня. Продольный уклон нагорных канав делается не менее 0,002, а размер поперечного сечения и поперечный профиль проектируются в зависимости от количества осадков и геологического строения. На рис. 139 видно, что канава *а* ни в какой мере не предохраняет от проникновения поверхностных и грунтовых вод по песчаному слою вниз на площадь действующего оползня. Уровень воды в канаве *б* тоже не должен подниматься выше кровли водонепроницаемых глин, так как в противном случае вода из канавы будет инфильтроваться в песок. В этом случае необходимо или углубить канаву, или одеть ее с нижней стороны водонепроницаемой одеждой, в качестве которой может

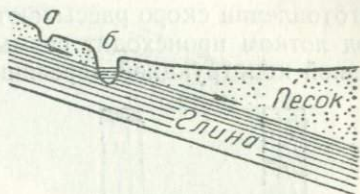


Рис. 139. Неправильно запроектированные нагорные канавы.

быть бетонная или железобетонная плита, или слой щебня или гравия, или слой дерновой земли.

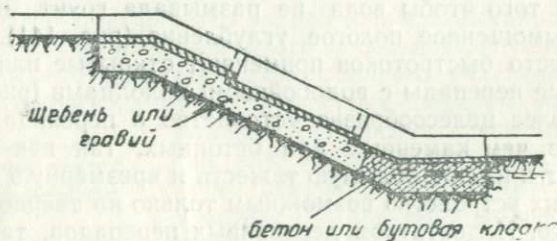


Рис. 140. Быстроток.

служить каменная или бетонная кладка, а также дерево с глиняной забивкой. В водопроницаемых породах водонепроницаемая одежда канав необходима по всему профилю, причем откосы и дно канавы иногда можно укреплять дерновкой, которая, правда, при уклонах менее 0,01 ведет к засорению канавы.

Канавы, служащие для отвода воды вниз по косогору, называются сборными или косогорными. Они имеют большие уклоны и для избежания больших скоростей воды требуют устройства быстротоков или перепадов с водобойными колодцами. В вырытой канаве основание быстротоков (рис. 140) выкладывается из щебня

или гравия, а промежуток за каменным, бетонным или железобетонным каркасом лотка быстротока заполняется плотно утрамбованной глиной (рис. 140). Железобетонные быстротоки устраиваются в местах, подверженных подвижкам. Обычно для каменных и бетонных быстротоков допускают скорости 5 м/сек, но при кладке из крупных камней на цементном растворе можно допускать скорость до 7 м/сек. Любые скорости допускают деревянные лотки-быстротоки, но они даже при очень тщательном изготовлении скоро высыхают и дают течь, вследствие которой под лотком происходит размывание грунта. Наиболее целесообразной конструкцией деревянных лотков является висячий лоток на стойках (рис. 141), состоящий из прямоугольного жолоба

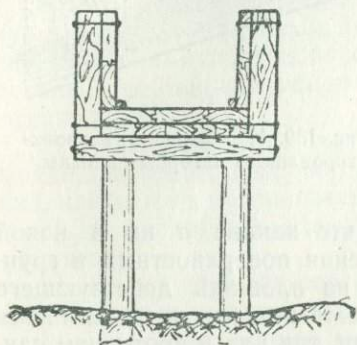


Рис. 141. Висячий лоток.

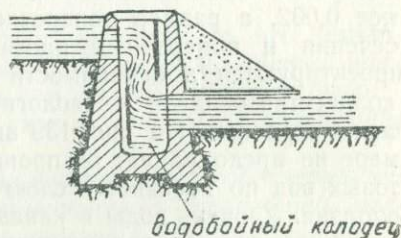


Рис. 142. Закрытый перепад.

с двойными стенками и дном. Течь из такого лотка легко заметить, а для того чтобы вода не размывала грунт, под лотком делается вымощенное пологое углубление (рис. 141). В других случаях вместо быстротоков применяют открытые или закрытые вертикальные перепады с водобойными колодцами (рис. 142). На оползнях более целесообразно устройство в перепадах деревянных уступов, чем каменных или бетонных, так как последние дорого стоят и имеют большую тяжесть и чрезмерную жесткость, что делает их устройство возможным только на твердом неоползневом грунте. Недостатком деревянных перепадов, также как и лотков-быстротоков, является то, что они пропускают воду и быстро загнивают, если сделаны не из пропитанного или дубового леса. Наиболее совершенным типом из деревянных перепадов являются ряжевые перепады (рис. 143). Каменная наброска под деревянным дном препятствует размыву грунта даже в том случае, если доски прилегают недостаточно плотно.

При менее значительных уклонах ограничиваются устройством в замощенном дне канав уступов (рис. 144) или поперечных плетней.

В районе городских проездов для спуска поверхностных вод применяются трубы, так как применение лотков потребовало бы большой их глубины, что в условиях города недопустимо. Вода в трубы поступает через колодцы, устроенные по типу обычных

городских сточных колодцев. Кроме бетонных, широко применяются также деревянные трубы.

б) Регулирование стока по существующим водотокам: речкам, оврагам, балкам и ложбинам имеет большое значение, так как здесь стекают атмосферные осадки, которые могут не только непосредственно размывать грунт, но и вызывать разрушения путем насыщения его. Особенно важно принимать меры к урегулированию стока при резком увеличении количества протекающей воды, при котором может произойти дальнейшее углубление русла и усиление бокового питания оползня водой. Для этого необходимо закреплять речки и овраги и выпрямлять их продольные и поперечные профили (в случае узких рытвин на широком дне). Спрявление в плане делается только в том случае, когда по широкому дну идет узкая, сильно извилистая рытвина. При этом бывает иногда выгодно засыпать отдельные участки, заменив их более короткими, вновь прорываемыми. Засыпка оврагов применяется только как чрезвычайная мера при очень быстрой их размываемости и большой глубине.

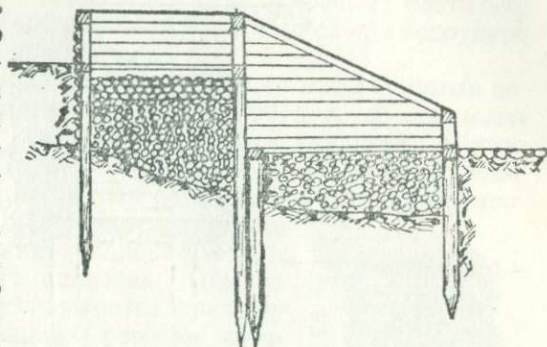


Рис. 143. Ряжевый перепад.

в) Непосредственная защита оползневых участков от размыва и инфильтрации достигается, главным образом, насаждением ивняка. Планировка здесь нежелательна, так как она нарушает естественный покров, ослабляя тем самым оползневой участок. Планируются только места, где явно нарушается нормальный сток, а обрывистые незаросшие склоны планируются лишь в том случае, если меры водоотвода не предохраняют от дальнейшего размыва.

2. Мероприятия по урегулированию подземного стока сводятся главным образом к устройству различных захватно-дренажных сооружений, имеющих целью обеспечить свободный сток подземных вод за пределы оползня. Степень эффективности дренажных сооружений зависит от типа оползня, характера водоносного горизонта и от места и способа заложения сооружений. В зависимости от глубины залегания и характера водоносного горизонта для этой цели применяются открытые дренажи, подземные галереи, дренажи со сложным заполнением и трубчатые дренажи.

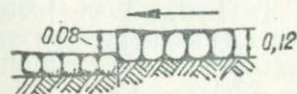


Рис. 144. Уступ в дне канавы.

Открытые дренажи — канавы и лотки применяются при глубине залегания дренируемого водоносного горизонта до 2,5—3 м. Огромным достоинством их является дешевизна, доступность для осмотра и легкая прочистка. Канавы — наиболее простой вид дренажа, но они возможны только в грунтах, хорошо держащих

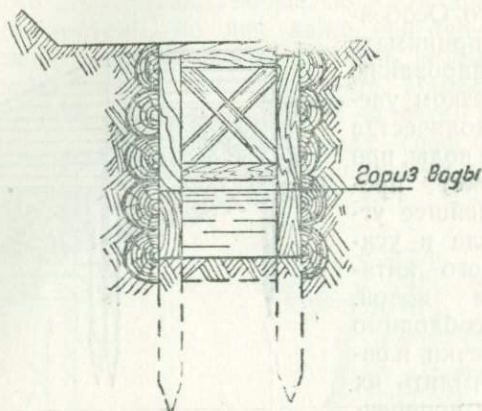


Рис. 145. Свайный лоток с диагональными крестовинами.

откосы при насыщении водой. Поэтому их часто приходится заменять открытыми деревянными свайными (рис. 145) или рамными (рис. 146) лотками. Свайные лотки отличаются от рамных тем, что в них опорой стенкам служат не трапецевидные рамы,

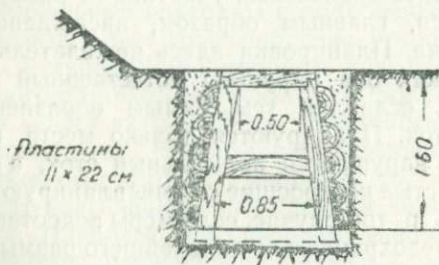


Рис. 146. Рамный лоток.

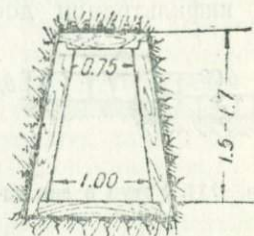


Рис. 147. Рамное крепление водосборной галереи.

а сваи, забиваемые на 0,07—1,00 м ниже дна лотка. Кроме деревянных лотков, могут устраиваться также каменные и железобетонные лотки, однако они применяются сравнительно редко.

Подземные галереи со свободным сечением применяются на любой глубине и позволяют так же, как и открытые дренажи, легкий осмотр, но стоимость их несравненно больше. Устройство под-

земных галлерей в теле оползня нерационально, так как подземные воды не образуют здесь правильного водоносного горизонта, а распределены незакономерно в виде отдельных скоплений и струй в более водонепроницаемых участках оползня. Наибольший положительный эффект подземные галлерей дают в том случае, если они проведены вне оползня в коренном склоне, где ясно выражен водоносный горизонт, сложенный из пород с хорошей водоотдачей (рис. 138, В). Дно галлерей должно быть настолько врезано в водоупор, чтобы граница водоносного слоя и водоупора была выше уровня воды в галлее.

Если водоносный слой представлен сильно насыщенными водой песками, принимающими характер пльвунов, то проходка штольни в них встречает почти непреодолимые трудности. В этом случае штольня для галлерей проходится в подстилающем водоносный горизонт водоупоре, а вода спускается через перфорированные буровые трубы в потолок галлерей. При удачном расположении галлерей может полностью ликвидировать оползень. Обычно водосборные галлерей устраиваются трапецевидного сечения со сплошным рамным креплением (рис. 147). Иногда прибегают к сплошному заполнению штольни камнем, причем по дну ее делается труба из сухой кладки или другого материала. Желательно бетонирование дна штольни (рис. 148). С поверхностью водосборные галлерей связаны рядом колодцев-шахт, которые служат для вентиляции, а также, в случае надобности, и для спуска воды из залегающих выше водоносных горизонтов.

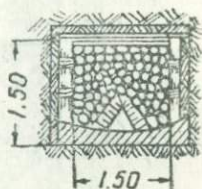


Рис. 148. Штольня со сплошной засыпкой.

Общее количество водосборных галлерей в оползневых районах СССР исчисляется многими десятками километров. Однако большинство из них пришло в упадок и не оправдало возлагавшихся на них надежд. Это объясняется неправильным выбором места заложения галлерей вследствие недостаточной изученности оползней, которая совершенно необходима перед проектированием таких дорогостоящих мероприятий. Так, например, практика показала, что при мелкозернистых породах без определенно выраженного водоносного горизонта устройство галлерей бесполезно, а это можно установить только разведочными работами, особенно при сложном геологическом строении.

Дренаж со сплошным заполнением представляет собой каналы-прорезы, заполненные грубообломочным материалом, или фашинами с камнем. Он легко засоряется и недоступен для осмотра, почему применяется при небольшой длине и при глубине, обычно несколько большей глубины промерзания, так как в противном случае он не будет работать в сильные морозы. Положительным качеством этого типа дренажа является то, что он пригоден в очень слабых грунтах и при больших уклонах. Это делает выгодным применение его для откосных сбегаящих дренажей.

Для заполнения его можно использовать гальку, гравий и металлургический шлак. Непременным условием является, чтобы этот материал был свободен от глинистых частиц и состоял из более или менее одинаковых по размеру кусков. Для этого перед заполнением его необходимо просеивать через грохот и желательнее промывать. Легко разрушаемые водой гипсоносные, меловые и другие породы для заполнения дренажа не допускаются.

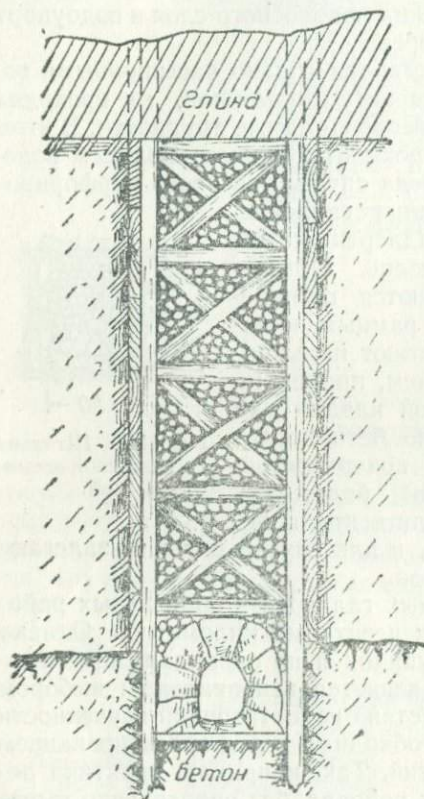


Рис. 149. Трубчатый дренаж.

Трубчатые дренажи, так же как и дренажи со сплошным заполнением, необходимо устраивать так, чтобы дно их было несколько ниже почвы водоносного слоя. Трубчатые дренажи отличаются от дренажей со сплошным заполнением тем, что в нижней части их проходит труба (рис. 149). Это делает их менее засоряемыми и позволяет прочищать без полной переборки заполнения. Они также хорошо сопротивляются боковому давлению и применяются на глубинах от 3 до 7 м, когда устройство открытых лотков становится невыгодным. Примерно через 100 м на трубчатых дренажах устраиваются смотровые колодцы.

3. Мероприятия по борьбе с размывающей деятельностью рек выражаются в устройстве струеотводных сооружений или в непосредственном укреплении размываемых участков (см. гл. IX, стр. 146—148).

Борьба с разрушениями прибором на берегах морей и озер ведется путем устройства волноотбойных стенок, расположенных вдоль берега, которые одновременно служат и подпорными стенками для тела оползня. Водоотбойные стенки необходимо возводить большой высоты для защиты берега от всплесков волн, высота которых достигает 25 м и больше. Стенки только тогда могут оправдать свое назначение, если они имеют большую толщину и заложены со значительным углублением в надежные коренные породы. В противном случае из-под них происходит вымыв грунта донной волной и они быстро разрушаются. Для увеличения сопротивления волноотбойных стенок ударам волн, сзади, через некоторые

интервалы, устраивают контрфорсы, засыпая камнем промежутки между стенкой и подмываемым берегом. Для сбора и отвода воды, поступающей из оползня, позади стенки устраивается дренаж. Несмотря на большую стоимость, волноотбойные стенки часто скоро разрушаются, не оправдывая своего назначения (рис. 1).

Для уменьшения разрушительной силы прибоя прибегают к искусственному уширению пляжа с помощью бун. Заградительные буны располагают перпендикулярно берегу на расстоянии 10—15 м. Промежутки между бунами постепенно заполняются наносами и таким образом происходит наращивание пляжа. Особенно благоприятные условия для применения бун имеются в районах устьев рек, выносящих много наносов и отлагающих бары. Во время шторма прибой размывает эти бары, а береговые течения перемещают наносы вдоль берега, отлагая их между бунами. По мере уширения пляжа буны можно наращивать, выдвигая их далее в море. В зависимости от силы волнения в месте возведения бун, их делают или из сплошного ряда свай или из парных свай, забитых на расстоянии 2,5—3 м. Промежутки между парами свай заполняются досками. В местах, где дно сложено скальными грунтами и нельзя забить сваи, делают ряжи с заполнением камнем. Применение бун дало положительный результат в Гаграх на Черноморском побережье, где в 1923—1924 г. удалось с помощью ряжевых бун увеличить ширину пляжа и остановить размыв берега. Для предохранения от размыва морского берега в районе одесских оползней предполагалось устройство ряда дамб, расположенных параллельно берегу. Эти дамбы должны быть ниже высоты действия волн прибоя, для того, чтобы за ними накапливались приносимые наносы и постепенно образовывался контрфорс.

4. Мероприятия по механическому удержанию оползней сводятся к возведению подпорных стен и прошивке сваями. Подпорные стенки являются старым методом борьбы с оползнями. Положительные результаты они дают лишь при небольшой мощности сползающего массива и если возведены на устойчивых грунтах. При этом непременным условием является, чтобы основание подпорной стенки находилось ниже поверхности скольжения (рис. 150), в противном случае она будет передвигаться вместе с оползнем. Таким образом, для правильного проектирования подпорной стенки, кроме надлежащего статического расчета, необходимо знать положение поверхности скольжения, которая не всегда бывает ясно выражена. Через некоторое время, вследствие выветривания пород, может образоваться новая глубина расположения поверхности скольжения, в результате чего возведенная на достаточно устойчивом основании подпорная стенка разрушается. Примером этому служат многочисленные подпорные стенки вдоль железной дороги на черноморском побережье. В некоторых случаях, когда подпорные стенки выдерживают давление со стороны оползня, сползаю-

щий грунт переваливается через стенку. Следовательно, пользоваться подпорными стенками в качестве меры борьбы с оползнем следует с большой осторожностью и только после детальных исследований, когда есть совершенно ясная картина геологического и гидрогеологического строения района оползневого массива.

Возводить подпорные стенки можно из бутовой кладки или бетона; железобетон применяется редко. Кладку подпорных стенок начинают с тыльной стороны, причем желательно придать ей такое поперечное сечение, чтобы давление на стенку было направлено косо вниз, тогда оползень ее не опрокинет (рис. 150). Если высота подпорной стенки окажется недостаточной, ее можно увеличить с противоположной от оползня стороны. При сухой кладке стенка пропускает через себя воду из тела оползня, если же она сделана из водонепроницаемого материала, то необходимо устройство специального дренажа. В противном случае



Рис. 150. Подпорная стенка.

подпорная стенка будет работать, как плотина, подпруживающая стекающую с косогора воды.

Прошивка тела оползня сваями дает положительный результат при небольшой мощности сползающего грунта. К ней прибегают, главным образом,

для удержания ползущего делювия на склонах, сложенных глинистыми сланцами и мергелями, причем применяются железобетонные или металлические сваи. Располагаются сваи рядами в шахматном порядке или сплошными рядами, причем число их в случае начавшейся подвижки можно увеличить. В этом преимущество свай перед подпорными стенками, которые при их деформировании нужно перекладывать заново.

5. Меры борьбы с оползнями методом уполаживания применяются на косогорах, сложенных мощной толщей мелкозернистых и глинистых пород, где нет ясно выраженного горизонта подземных вод и метод глубокого дренажа в коренном склоне не дает положительного эффекта. Для выбора угла откоса лабораторным путем на пробах грунта определяют коэффициенты трения и сцепления. Однако таким образом трудно подобрать надлежащие коэффициенты для расчета устойчивости склона, в котором уже образовались трещины отрыва и связь между отдельными глыбами потеряна. Кроме того, трещины усыхания в глине, связанные с попеременным увлажнением и усыханием, делают еще более трудным правильный теоретический расчет устойчивости склона. При крутых высоких склонах метод уполаживания совершенно неприменим, так как связан с очень большими земляными работами. Применение этого метода не имеет

смысла также на пришедшем в движение косогоре, где уже образовались поверхности скольжения.

При борьбе с оползнями нужно учитывать, что только при комплексном проведении противооползневых мероприятий можно закрепить оползни или свести до минимума приносимый ими вред. Приступая к борьбе с оползнями, в первую очередь нужно принять меры по урегулированию поверхностного стока и провести профилактические мероприятия, так как они необходимы для оползней любого типа. К принятию коренных мероприятий следует приступать только после длительных исследований, так как практика показала, что поспешность приводит здесь часто к большим расходам, которые не оправдываются полученными результатами. Одновременно с коренными мероприятиями необходимо продолжать выполнять профилактические меры борьбы.

Обвалы. Обвалом называется падение масс горной породы по крутому обрывистому склону. От оползней обвалы отличаются тем, что при обвалах породы не ползут вниз по склону, а падают, опрокидываясь и разбиваясь на отдельные глыбы разных размеров. Обвалы возникают только на крутых склонах вследствие образования трещин и общего уменьшения крепости горных пород при их выветривании. Тектонические трещины и трещины отдельности, падающие согласно склону, являются главнейшими факторами, вызывающими обвалы обрывистых склонов, сложенных изверженными горными породами. В метаморфических породах, кроме того, существенную роль играет сланцеватость. В трещиноватых породах большое значение имеет гидростатическое давление воды, заполняющей вертикальные трещины полностью после выпадения дождя, причем гидростатическое давление даже при глубине трещин около 10 м измеряется тоннами на 1 м². При наличии закрытых горизонтальных трещин этого давления вполне достаточно, чтобы сдвинуть непрочные стоящие глыбы горных пород. Давление замерзшей в трещинах воды и корни деревьев и кустов ослабляют породу, подготавливая условия для внезапного катастрофического обвала. Условия для образования обвала могут быть подготовлены деятельностью человека. Закладка каменоломен и глубокие выемки на крутых склонах часто служат причиной, вызывающей катастрофу.

Фактором, вызывающим обвал ослабленного крутого склона, может служить сильный дождь, таяние снега, землетрясение или даже сотрясение от проходящего поезда. Признаком готовящегося обвала является образование новых трещин или расширение старых. Многочисленные тонкие и параллельные трещины указывают на сравнительно небольшой обвал. Наличие же между ними широкой, большой, прослеживающейся на большом расстоянии трещины говорит о том, что угрожает обвал значительных размеров. Перед наступлением обвала трещины заметно расширяются, падают отдельные камни и слышен своеобразный гул.

По месту развития различают горные и береговые обвалы.

Часть IV

ИССЛЕДОВАНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Глава XV

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Геохронология

Вследствие сложности геологического строения верхних слоев литосферы и тех процессов, которые в ней происходят, только после целого ряда исследований удастся получить достаточные данные для оценки инженерно-геологических условий в районе сооружений. Такие исследования геологического характера подразделяются на три последовательных этапа: геологические, гидрогеологические и специальные инженерно-геологические исследования. В результате этих исследований составляются соответствующие карты и разрезы, которые вместе с прилагаемыми к ним описаниями служат основным материалом при проектировании и возведении сооружений.

Задачей геологических исследований является выяснение геологического строения местности, зависимости рельефа от этого строения и установление тех эндогенных и экзогенных процессов, которые с момента образования Земли принимали участие в формировании изучаемых пространств и происходят на них в настоящее время. Таким образом, в процессе геологических исследований одновременно со строением Земли изучается ее история; отдел геологии, посвященный этому вопросу, называется исторической геологией. Так как геологические карты составляются по материалам геологических исследований, то выполняемые для этого полевые работы обычно называют геологической съемкой. Геологическая съемка должна производиться в первую очередь, так как только она даст возможность сознательно выбрать место для дорогостоящих разведочных и опытных работ, сопровождающих гидрогеологические и инженерно-геологические исследования. В некоторых случаях уже одной геологической съемки бывает достаточно для выбора места под сооружения и для предварительной оценки условий его возведения.

Степень детальности геологической съемки, также как и топографической, зависит от масштаба, в котором ведутся работы. Так как отдельные слои в масштабе можно нанести только на картах очень крупного масштаба, что практически очень затруднительно, то на геологических картах обычно выделяются только свиты слоев, образовавшихся в одно время, а это возможно лишь с помощью исторической геологии, которая разделяет породы по их возрасту.

Есть много попыток определить абсолютный возраст пород, но все они пока носят гипотетический характер. Например, для возраста Земли разные гипотезы дают различные цифры в пределах от 1000 до 10000 млн. лет. Поэтому в геологии пользуются исключительно относительной хронологией, т. е. определяют, какие из пород более древние, какие более молодые и какие образовались в одно время. Для определения относительного возраста пород применяют три метода: стратиграфический, палеонтологический и петрографический.

Стратиграфический метод основан на том принципе, что первоначальный характер залегания пород, независимо от их возраста, должен быть такой же, как и у современных отложений, образовавшихся в аналогичных условиях. Следовательно, все осадочные породы, которые наиболее широко развиты в верхних слоях литосферы, отлагались в виде более или менее горизонтальных слоев. В таком случае всякий горизонтально залегающий слой будет древнее перекрывающего его и моложе подстилающего. При соприкосновении осадочных пород с изверженными относительный возраст их определяется по характеру контакта. Если изверженные породы моложе осадочных, то осадочные породы на контакте с изверженными будут переплавлены и изменены в метаморфические вследствие контактового метаморфизма. Если же осадочные породы моложе изверженных, то они не несут никаких следов метаморфизма и залегают на неровной выветрелой поверхности изверженных пород.

При ненарушенном залегании пород и при выдерживаемом на больших расстояниях петрографическом строении отдельных пластов, с помощью стратиграфического метода относительный возраст горных пород устанавливается без труда. При выклинивании слоев, изменении их состава в горизонтальном направлении и в сильно дислоцированных условиях залегания, один стратиграфический метод не обеспечивает правильности определения. В этом случае на помощь приходит палеонтологический метод.

Палеонтологический метод основан на изучении окаменелостей животных и растений, которые встречаются во всех горных породах за исключением изверженных и самых древних метаморфических пород. Отдел геологии, изучающий древние организмы по их окаменелостям и остаткам, называется палеонтологией, которая в свою очередь подразделяется на палеофаунистику — изучение древних животных и

палеоботанику — изучение древних растений. Так как большинство осадочных пород образовалось на дне морей и океанов, где наиболее благоприятные условия для сохранения скелетов организмов и их окаменения, то палеофаунистика играет несравненно большее значение при определении возраста пород, чем палеоботаника.

Основным положением для палеонтологического метода служит то, что животные жили в то время, когда отлагался вмещающий их остатки пласт. Изучением ископаемых животных в толщах горных пород, относительный возраст отдельных пластов которых легко определяется стратиграфическим методом, установлено, что: а) организмы развивались на земле постепенно от простейших к высшим, заканчиваясь человеком; б) простейшие животные и растения зародились в наиболее древние периоды жизни Земли и прослеживаются до настоящего времени, в) высшие организмы зародились и стали преобладать в более новые эпохи; следовательно, чем древнее породы, тем менее похожи окаменелости на современных животных; г) последовательность смены различных фаун и флор одна и та же на всей Земле, т. е. слои одинаковой древности содержат одинаковые или сходные окаменелости; д) отдельные виды организмов зарождались на Земле, достигали расцвета, а затем вымирали и больше вновь не появлялись.

Окаменелости животных, которые жили на земле длительный, в геологическом смысле, промежуток времени, находятся в самых разнообразных по возрасту породах и являются малочисленными для определения их возраста. Особый интерес для определения возраста пород представляют окаменелости тех видов животных, которые недолго существовали на земле. Они встречаются в небольшой пачке пород, характеризуя ее возраст, а тем самым характеризуя до некоторой степени возраст залегающих сверху и снизу слоев. Окаменелости этих организмов позволяют установить хронологию Земли, т. е. геохронологию, и называются руководящими ископаемыми.

Характер фауны и флоры зависит также от физико-географических условий, т. е. в одно и то же время в морях и океанах развиваются иные организмы, чем в пресноводных бассейнах и на суше, а в условиях жаркого климата — иные, чем в холодном климате. Это позволяет с помощью изучения животных и растений по их окаменелостям определять не только возраст горных пород, но и устанавливать границы континентов и климат в отдельные периоды жизни Земли.

На помощь стратиграфическому и палеонтологическому методам приходит петрографический метод. Он основан на том факте, что петрографический состав осадочных пород также меняется в зависимости от того, в каких условиях они накапливались. Отдельные пласты или свиты пластов, образовавшиеся в одинаковых физико-географических условиях, называются фациями. Различают целый ряд фаций, но все они мо-

гут быть объединены в три основные группы: морские, лагунные и континентальные фации.

При сопоставлении данных, полученных всеми тремя методами, вырисовывается ясная картина смены физико-географических условий на земной поверхности и выясняется исторический ход тех процессов, которые происходили на Земле от момента ее образования до настоящего времени. Конечно, о более древних периодах жизни Земли сохранилось меньше фактического материала, чем о последующих, и сведения о них часто недостаточно полны. Особенно это относится к древнейшим периодам, когда на Земле еще не зародилась органическая жизнь.

История Земли делится на эры, эры — на периоды и т. д., а отложения, образовавшиеся в эти интервалы времени, делятся на группы, группы — на системы и т. д. (табл. 7). Соответствующие эры и группы, периоды и системы и т. д. носят одинаковые названия. Кроме космического времени, когда образовывалась Земля и формировались первичные моря и континенты, вся история Земли делится на 5 эр, а отложения — на 5 соответствующих групп.

Таблица 7

Подразделение истории Земли по времени
и по отложениям, образовавшимся
в соответствующие интервалы времени

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

Археозойская эра—группа. Это самая длительная и древняя эра и наиболее мощная группа. Археозойская группа представлена толщей гнейсов и кристаллических сланцев, нижняя граница которых не установлена. Породы этой группы сильно дислоцированы и сплошной корой одевают земной шар, в то время как последующие группы лишь отдельными площадями залегают поверх нее. В археозойскую эру появились протоплазма и простейшие живые существа.

Протерозойская эра—группа. Степень метаморфизма пород этой группы меньше, и часть осадков сохранила нормальный характер. Наиболее характерны глинистые сланцы и песчаники, в которых встречаются редкие остатки беспозвоночных животных.

Палеозойская эра—группа. Это первая группа с большим количеством органических остатков: общая мощность

ее около 30 000 м. Сложена она из пород разного петрографического состава и подразделяется на пять систем: кембрийскую, силурийскую, девонскую, каменноугольную и пермскую (см. табл. 8).



Рис. 151. Трилобит.

Животный мир этой эры характеризуется ракообразными (рис. 151), господством панцирных рыб и появлением крупных земноводных. Развитие исплинских папоротников и хвощей достигает своего апогея в каменноугольный период, чем объясняется максимальное развитие залежей угля в каменноугольной системе.

В палеозойскую эру создаются Урал и Тиманский кряж.

Море в Европейской части СССР в начале силурийского периода протягивалось широтной полосой от прибалтийских республик на восток. К началу девона оно почти полностью оставило Европейскую часть СССР, и затем снова начало покрывать ее, рас-

пространяясь сначала в широтном, а затем в меридиональном направлении. К концу палеозоя, в пермский период оно представляло бассейн, вытянутый вдоль западных склонов Урала, на дне которого образовались гипсоносные породы и каменная соль.

Мезозойская эра — группа. Общая мощность мезозойской группы около 6000 м. Среди отложений этой группы преобладают глинистые сланцы, глины, песчаники, известняки и доломиты, а также встречаются залежи каменного угля. Весь комплекс отложений мезозойской группы подразделяется на три системы: триасовую, юрскую и меловую (табл. 8).

Фауна мезозойской эры отличается господством крупных пресмыкающихся, появлением костистых рыб, птиц и первых млекопитающих. Среди пресмыкающихся были не только плавающие, ползающие, но и летающие формы. Флора характеризуется развитием хвойных и появлением лиственных растений.



Рис. 152. Средне-юрское море в Европейской части СССР: 1 — современные моря, 2 — средне-юрское море.

В юрскую эру зарождаются Крымские и Кавказские горы и наблюдается повторная складчатость на Урале.

Море на территории Европейской части СССР в среднеюрское время представляло собой узкий пролив, протягивающийся от прибалтийских республик до Кавказа (рис. 152). К концу мелового периода оно покрывало всю территорию южнее Москвы.

Кайнозойская эра — группа. Кайнозойская эра обнимает весь промежуток времени от конца мелового периода до настоящего времени. Продолжительность ее видимо гораздо меньше предыдущих эр. Подразделяется она на два периода: третичный и четвертичный (табл. 8). Средняя мощность отложений этой группы около 600 м, хотя в Китае она достигает до 5500 м. Осадки кайнозойской группы отличаются рыхлостью, мягкостью и редко обнаруживают следы метаморфизма. Среди морских отложений преобладают мягкие известняки, мергели, глины, рыхлые пески и конгломераты. Четвертичная система представлена почти исключительно континентальными отложениями, среди которых первостепенное значение имеют ледниковые образования и лесс.

Многие виды животных мелового периода вымирают и заменяются другими. Получают широкое развитие высшие формы млекопитающих и в четвертичное время появляется человек. В растительном мире получают господство лиственные растения, которые появились уже в конце мелового периода.

В климатическом отношении третичный период отличается быстрым похолоданием, завершившимся в четвертичный период великим оледенением. Начало кайнозойской эры характеризуется крупными орогеническими движениями, происходившими вдоль широтной полосы от южной Европы и северной Африки через Среднюю и Центральную Азию до северных берегов Австралии (рис. 44). На территории Советского Союза в это время окончательно сформировались: Крымские, Кавказские, Алтайские, Туркестанские горы и Памир, а в южной части западной Европы — Альпы. В этих областях также широко развиты новейшие изверженные и эффузивные породы.

Море, покрывавшее в конце мелового периода пространство к югу от Москвы, постепенно сокращается в размерах, отступая к югу. Мало-помалу оно принимает современные очертания, причем Каспийское и Черное моря являются остатками обширного третичного бассейна.

Геологическая съемка, восстанавливая историю Земли, выясняет тем самым те геологические процессы, которые происходили в момент образования различных горных пород. В то же время она устанавливает те физико-географические условия, в которых породы жили в дальнейшем. От всех этих факторов зависят формы залегания и петрографический состав пород,

Характерные черты периодов — систем

Эры—	Периоды— системы	Преобладающие характерные осадочные породы	Фауна и флора
Археозойская	—	Гнейсы и кристаллические сланцы	Появление протоплазмы и простейших существ
Протерозойская	—	Глинистые сланцы и песчаники	Господство первичных беспозвоночных
Палеозойская	Кембрийский	Песчаники, конгломераты, глины, глинистые сланцы, мергели и изредка известняки	Появление множества морских животных, снабженных раковинами. Появление морских водорослей
	Силурийский	Известняки, доломиты, глинистые сланцы и песчаники	Господство ракообразных, появление кораллов, панцирных рыб, насекомых и пауков. Появляются редкие экземпляры папоротников
	Девонский	Песчаники, конгломераты, известняки и глинистые сланцы	Появление амфибий
	Каменноугольный	Известняки, песчаники, глины и каменный уголь	Господство морских рыб. Исполосские папоротники и хвощи
	Пермский	Доломиты, известняки, песчаники, гипс и каменная соль	Появление крупных земноводных. Появляются хвойные растения
Мезозойская	Триасовый	Известняки, доломиты, песчаники, конгломераты и глины	Появление млекопитающих. Широкое развитие хвойных
	Юрский	Оолитовые и другие известняки, мергели, сланцеватые глины, песчаники и каменный уголь	Появление птиц, крупные пресмыкающиеся
	Меловой	Глины, песчаники, известняки и пласты мела	Развитие морских ежей. Появление лиственных растений.

Эры— группы	Периоды— системы	Преобладающие характерные осадочные породы	Фауна и флора
Кайнозойская	Третичный	Мягкие известняки, мергели, глины, рыхлые пески и конгломераты	Появление и господство высших млекопитающих—обезьян. Господство лиственных растений
	Четвертичный	Ледниковые отложения. Аллювиальные и эоловые пески, глины и суглинки, отложившиеся в прибрежном море	Появление и господство человека. Развитие современной фауны и флоры

которые в свою очередь определяют их физико-механические и другие свойства, имеющие первостепенное значение при оценке инженерно-геологических условий под сооружения.

Геологическая съемка

Почвенный слой и четвертичные отложения, называемые наносами, сплошным покровом одевают более древние породы, скрывая их от пытливого глаза геолога. Только в крутых берегах оврагов, рек, озер и морей, на горных склонах и гребнях эти породы выходят непосредственно на поверхность. Места, где отсутствует растительный покров и горные породы открыты для исследования, называются обнажениями. Кроме естественных обнажений, связанных обыкновенно с резкими изломами рельефа, могут быть искусственные обнажения, созданные деятельностью человека. Различные ямы, канавы, котлованы, каменоломни, колодцы, шурфы, шахты, буровые скважины, являются искусственными обнажениями, значение которых огромно. Особенно ценными они становятся на равнинных местах, где естественные обнажения представляют большую редкость. Преимуществом искусственных обнажений перед естественными является то, что породы в них вскрыты недавно и мало выветрели.

Мелкомасштабная геологическая съемка. При геологической съемке мелкого масштаба местность пересекается геологом только по нескольким направлениям, называемым маршрутами. От целесообразного выбора маршрутов часто зависит успех и качество работы. Маршруты должны проходить там, где больше всего можно ожидать обнажений. При малопересеченной местности их обычно выбирают вдоль речных долин.

Геолог тщательно описывает и зарисовывает каждое обнажение. Если же оно имеет особый интерес, то и фотографирует. На обнажении геолог изучает петрографический состав и условия

залегания горных пород, отбирает наиболее хорошо сохранившиеся экземпляры руководящих ископаемых и выкалывает необходимые образцы пород. Место обнажения помечается на топографической карте и определяется высота его над уровнем моря. Все наблюдения записываются в полевой дневник.

Снаряжение геолога, необходимое для выполнения работ, должно отличаться прочностью и быть удобным в полевых условиях. Главнейшими предметами полевого снаряжения геолога являются: топографическая карта, геологический молоток, зубила, горный компас, барометр — анероид, карманная лупа, перочинный ножик и флакон с соляной кислотой.

Топографическая карта соответствующего масштаба носится в специальной сумке с целлулоидной палеткой на одной стороне. Это позволяет пользоваться картой, не доставая ее из сумки, и в то же время защищает ее от дождя и т. п.

Геологический молоток изготавливается из специальной стали и служит для получения свежего излома в обнажении и выкалывания образца пород. Геологические молотки бывают различной формы в зависимости от того, для работы в мягких или крепких породах они предназначаются. В первом случае своим острым концом молоток напоминает кайлу, а во втором — кирку, но по длине обычно он не превышает 11—12 см.

Зубила служат дополнением к молотку и употребляются для выбивания окаменелостей и минералов и откалывания кусков породы по трещинам отдельности или плоскостям напластования.

Горный компас необходим для измерения простирания и падения пластов, сбросов, жил, трещин отдельности и т. д. Горный компас состоит из двух основных составных частей: магнитной стрелки с лимбом и отвеса, которые прикреплены на четырехугольной металлической пластинке размером 7—8 × 9—11 см (рис. 153). Линия север—юг лимба проходит параллельно длинному краю пластинки компаса, а линия восток—запад — параллельно короткому. Лимб горного компаса обычно бывает разделен с точностью до градуса и имеет азимутальное деление. Особенностью его является то, что отсчеты по азимутальному лимбу увеличиваются не по ходу часовой стрелки, а в противоположном направлении (рис. 153). В соответствии с этим восток на лимбе расположен слева от линии север—юг, а запад справа. Это позволяет с помощью горного компаса определять любое направление, не совмещая севера лимба с северным концом стрелки, как это необходимо делать при пользовании обычным компасом.

Допустим, что нужно определить направление линии *ab*, азимут которой равен 30° (рис. 154, I). Для совмещения длинной пластинки компаса с линией, пластинку нужно повернуть вправо. При этом магнитная стрелка будет оставаться на месте, но получится впечатление, что она отклонилась влево, так как ее северный конец переместится в северо-западную часть лимба

и будет показывать отсчет 330° (рис. 154, II), хотя действительное направление линии ab 30° . В случае же деления, принятого на горном компасе, при совмещении длинной кромки его рамки с линией ab , северный конец магнитной стрелки окажется в северо-восточной части деления лимба и даст отсчет 30° (рис. 154, III), определяющий азимут линии ab .

Таким образом, для определения азимута направления достаточно совместить с линией направления длинную сторону

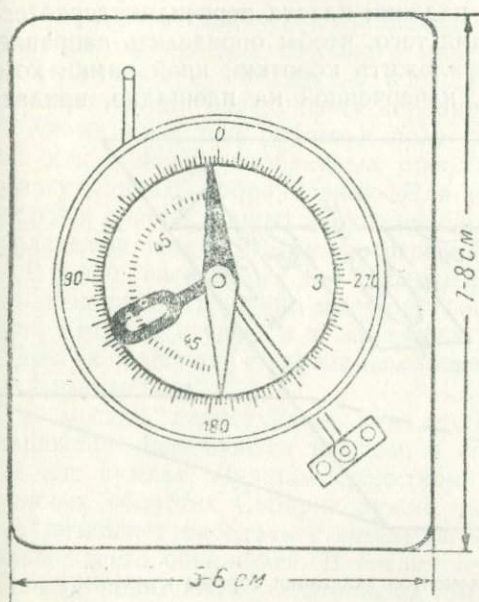


Рис. 153. Горный компас.

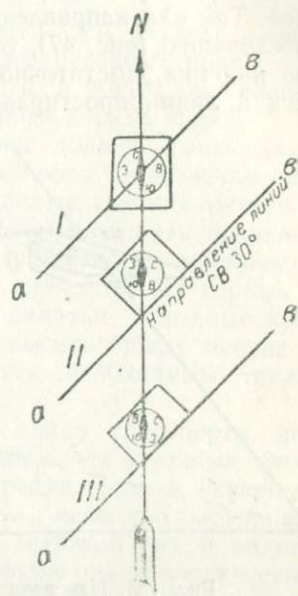


Рис. 154. Измерение азимута направления обычным и горным компасами.

пластинки компаса и по северному концу магнитной стрелки сделать на лимбе отсчет. Этот отсчет дает действительный азимут, без каких-либо предварительных вычислений или пересчетов. В полевой обстановке это особенно важно, так как уменьшает до минимума вероятность ошибок и облегчает работу.

Горный компас служит также для определения угла падения пластов. Для этой цели на подставную иглу магнитной стрелки надет очень подвижный отвес, который перемещается вдоль градусных делений, выгравированных внутри компаса на его пластинке (рис. 153). Из рисунка видно, что 0° совпадает с 90° азимутального лимба, а 90° совпадает с 0° и 180° . Поставив компас вертикально на ребро, можно получить угол наклона.

При определении с помощью горного компаса условий залегания горных пород на обнажении, в первую очередь геоло-

гическим молотком вырубают гладкую площадку, поверхность которой должна совпадать с наложением пластов. Затем ставят компас вертикально на ребро и перемещают его до тех пор, пока он не станет горизонтально, т. е. отвес даст отсчет нуль. В этот момент направление пластинки компаса будет совпадать с простиранием пласта. После этого, вжимая компас в породу, получают на ней канавку, которая отметит, таким образом, линию простирания на площадке. В твердых породах эту линию простирания проводят карандашом вдоль пластинки компаса. Так как направление падения пласта перпендикулярно его простиранию (рис. 47), то для того, чтобы определить направление падения, достаточно приложить короткий край рамки компаса к линии простирания, начерченной на площадке, придать

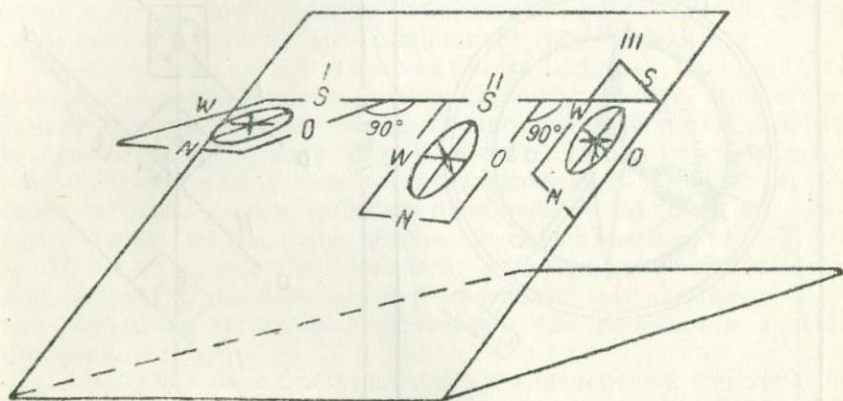


Рис. 155. Измерение элементов залегания горным компасом.

компасу горизонтальное положение и сделать отсчет (рис. 155, I). При этом компас всегда нужно держать северной стороной по падению пласта. Затем для определения угла падения пласта, пластинку компаса снова совмещают с поверхностью площадки (рис. 155, II), ставят на ребро (рис. 155, III) и делают отсчет по отвесу. Сделанные компасом измерения записывают в следующем порядке: NW 272°, \angle 21°, т. е. прежде всего записывают румб направления падения пласта, а затем азимут направления и угол падения. Это измерение полностью определяет положение пласта, трещины и т. д. в пространстве, так как азимут простирания легко получить из азимута направления падения пласта путем прибавления или вычитания 90°. Точность определения элементов залегания можно увеличить, сделав измерения на нескольких площадках.

Барометр-анероид нужен для определения абсолютных и относительных высот отдельных обнажений и характерных элементов рельефа. Так как показания анероида изменяются не только от высоты места, но и от погоды, то следует

иметь не менее двух анероидов. Один анероид оставляется на месте с помощником геолога, который через каждые полчаса делает отсчеты по нему, а по другому анероиду в это же самое время геолог записывает показания на местности. Пользуясь показаниями стационарного анероида, можно вечером внести поправки в полевые записи на колебание давления вследствие изменения погоды.

Карманная лупа нужна для рассматривания мелкозернистых пород и минералов.

Перочинный ножик используется для очинки карандашей и определения твердости минералов и горных пород.

Склянка с соляной кислотой в виде капельницы необходима для определения карбонатности горных пород.

Кроме того, при работе в поле геолог должен иметь: рюкзак для ношения отобранных образцов пород и мешочки или бумагу для их заворачивания. Для упаковки хрупких окаменелостей и слабых горных пород необходимо иметь вату и паклю. Желательно иметь также фотографический аппарат и бинокль.

В редко населенных и в совершенно ненаселенных горных и таежных районах нужно иметь с собой палатки, походные кровати, столы и стулья, а в заполярьи, в высокогорных местах и в других районах с холодным климатом необходимы также спальные мешки.

В местах, недоступных для других видов транспорта, все снаряжение перевозится выюком, в специальных выючных ящиках или сумках. Лучшим средством передвижения в северных таежных областях Сибири служит лодка, особенно моторная. Она позволяет работать с минимальной затратой сил и видеть больше всего обнажений. В последнее время при геологических съемках пользуются автотранспортом и даже самолетами, что сильно повышает производительность труда.

Детальная геологическая съемка. Детальная геологическая съемка состоит в изучении всей площади, а не отдельных маршрутов. Поэтому при детальных съемках крупного масштаба естественные обнажения не дают достаточного фактического материала. В этом случае приходится прибегать к специальным искусственным обнажениям, называемым разведочными выработками, которые раньше применялись исключительно при поисках и разведке полезных ископаемых. Сюда относятся: закопущки, канавы, шурфы, шурфы с квершлагами, штольни и буровые скважины. В настоящее время ими пользуются также при всех детальных изысканиях под инженерные сооружения.

Разведочные работы

Разведочные работы подразделяются на горные и буровые.

Горные работы. Закопущкой называется углубление до 0,3—0,4 м глубиной, которое служит для обнажения горных пород от растительного слоя и наносов мощностью не свыше

0,25 м. С помощью закопшек прослеживают распространение стельных пластов, уточняют границы между различными толщами и т. д.

Канавой называется длинная горная выработка, средней шириной около 0,8 м. В зависимости от устойчивости проходимых пород, канавам придают разные поперечные профили. Роют канавы обычно на глубину не свыше 3 м и большей частью без всякого крепления.

Канавы применяются с успехом для обнаружения горных пород при крутом падении пластов и небольшой мощности напсов (рис. 156, А). Располагать канавы, как правило, необходимо вкрест (перпендикулярно) простиранию слоев (рис. 156, Б),

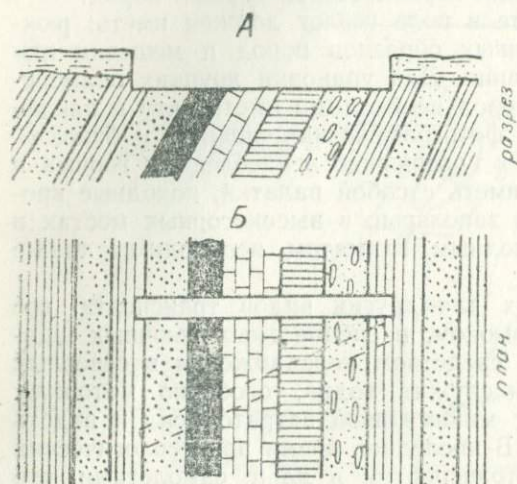


Рис. 156. Продольный разрез канавы и расположение ее в плане.

так как в противном случае для обнажения одних и тех же пластов потребуется более длинная канава.

Шурфом называется вертикальная разведочная горная выработка, пройденная с поверхности земли с целью получения вертикального обнажения. Шурфы бывают квадратного и круглого (дудки) сечения. Максимальное поперечное сечение шурфов $1,5 \times 2$ м применяется редко. Обычно для изыскательских целей

пользуются шурфами меньшего сечения $1,0 \times 1,5$ м, $0,75 \times 1,0$ м и даже меньше. Шурфы обычно проходят на глубину 5—15 м, и только как на редкое исключение можно указать на шурфы до 50 м глубиной.

В зависимости от крепости пород, шурфы проходятся всеми способами, от разработки лопатой или заступом до применения взрывных работ. Подъем породы при этом производят обыкновенным воротом (рис. 166) с помощью одного или двух окованных ведер большого размера, называемых бадьями. Бадьи прикрепляются к концам каната, намотанного на ворот. Работа с двумя бадьями имеет все преимущества перед работой с одной бадьей. Во-первых вес опускаемой бадьи уравнивается мертвый вес нагруженной, а во-вторых получается большая экономия времени, так как при двух бадьях одновременно происходит подъем нагруженной и спуск пустой.

Шурфы глубиной больше 5 м редко удается пройти без водоотлива и крепления. При небольшом притоке воды, она выдается на поверхность вместе с породой, а при увеличении поступления приходится поднимать ее отдельно. При значительном притоке часто на одну бадью породы выдают 2—3 бадьи воды. При большом притоке подъем воды бадьями становится невыгодным. В этом случае необходимо устанавливать ручные или механические насосы.

Без крепления шурфы глубиной до 30 м удается проходить лишь в лессе. В прочих, даже скальных грунтах проходка глубоких шурфов без крепления или совершенно невозможна или связана с опасностью для жизни работающих в шурфе горнора-

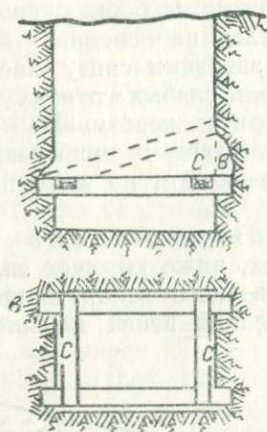


Рис. 157. Основной венец крепления на бабках.

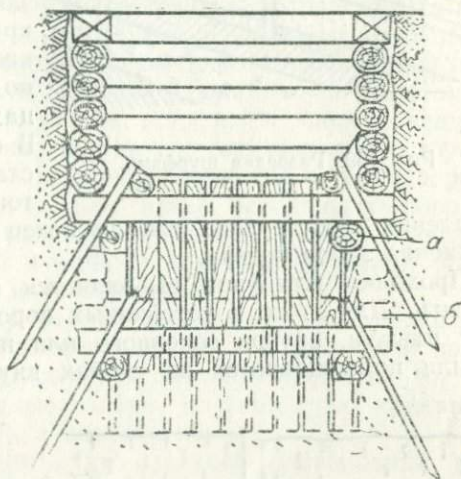


Рис. 158. Забивная крепь: а — внутренний венец, б — паружный венец.

бочих. В зависимости от силы давления со стороны стенок шурфа, применяют разные виды крепления, главнейшими из которых являются: крепление на бабках, сплошная венцевая крепь и забивная крепь.

При небольшом боковом давлении, а также для предупреждения вывала отдельных кусков крепкой породы по трещинам применяется крепление на бабках. Когда дальнейшая проходка шурфа становится опасной, у его забоя (так называется во время проходки дно вертикальной или конец горизонтальной горной выработки) укладывают основной венец. Длинные брусья основного венца имеют пальцы, которые заводят в гнезда — лунки глубиной 0,25—0,5 м (рис. 157). По углам основного венца устанавливают бабки длиной 0,75—1,00 м, а на них сверху располагают такой же венец, как и основной, но без пальцев. С основным и верхним венцами бабки соединяются в шип. На верхний венец снова ставят бабки, которые

перекрывают новым венцом, и т. д. Однако через каждые 4—6 венцов, и не реже чем через 10 должно снова укладывать основной венец. Стенки шурфа за венцами тщательно затягивают горбылями, а пустое пространство между стенками и горбылями закладывают горной породой.

Давление со стороны стенок шурфов, пройденных в слабых грунтах, может достигать значительных размеров. В этом случае применяют сплошную венцевую крепь,

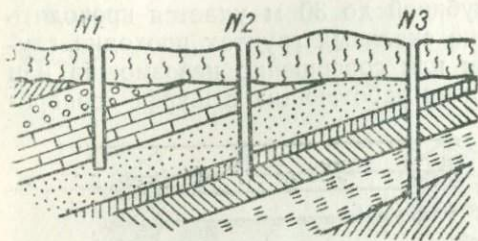


Рис. 159. Разведка шурфами.

которая состоит из отдельных венцов, соединенных в лапу (рис. 166) или в косой замок. Крепление венцевой крепью может, так же как и крепление на бабках, производиться на основных венцах звеньями снизу вверх. В очень слабых грунтах это становится невозможным, и тогда с успехом прибегают к

креплению сверху вниз, заводя венец за венцом по мере продвижения забоя шурфа.

Проходка пльвунов выполняется с помощью забивной крепи. Для этого в устойчивых породах, ниже которых залегает пльвун, внутрь основного или подвесного венца кладется или подвешивается на скобах внутренний венец меньшего

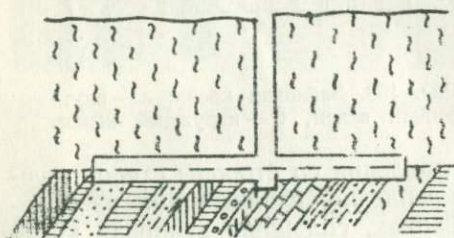


Рис. 160. Разведка шурфами с кварцитами.

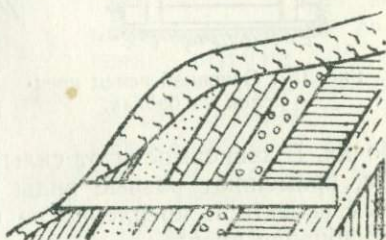


Рис. 161. Разведка штольней.

сечения (рис. 158). Между этими венцами вставляют доски, которые одновременно с выемкой породы загоняются наклонно под углом 70—80°. В результате образуется усеченная пирамида с более широким нижним основанием (рис. 158). Каждая забивка досок делается не более как на 20—30 см, а порода вынимается настолько, чтобы концы досок всегда оставались в породе не менее, чем на 10 см. Чем ближе пльвун, тем на большее расстояние должны быть концы досок впереди забоя шурфа. После того как доски вогнаны на всю их длину, в забое шурфа

укрепляется к доскам второй наружный венец, а к нему — второй внутренний венец и между ними забивается новый ряд досок.

Исследования шурфами целесообразно производить при малой мощности наносов, небольшом притоке воды и при горизонтальном или пологом залегании пластов (рис. 159). Линии шурфов необходимо разбивать вкрест простирания пород, а расстояния между шурфами и их глубину выбирать так, чтобы пласт, вскрытый у забоя шурфа № 1, был непременно пересечен шурфом № 2 (рис. 159) и т. д. В противном случае могут быть пропущены отдельные пласты и получено неправильное представление о геологическом строении местности.

При равнинном рельефе, большой мощности наносов и крутом падении пород прибегают к изысканиям посредством шурфов с квершлагами, т. е. горизонтальными горными выработками, пройденными из вертикальных вкрест простирания пластов (рис. 160). При этом шурфы проходят на расстоянии 45—90 м, а из них в обе стороны встречным забоем ведутся квершлагы. Крепятся квершлагы и другие горизонтальные горные выработки таким же рамным креплением, как и водосборные галереи (рис. 147). В более или менее устойчивых породах применяется не сплошное рамное крепление, а рамы устанавливаются на расстоянии 1—2 м одна от другой, с затяжкой участков между ними досками или горбылями.

Штольни выгодно применять для разведочных целей при пересеченном рельефе местности и при крутом залегании пород (рис. 161). Большим преимуществом штольни является то, что она вскрывает не выветрелые головы пластов, как канавы и квершлагы (рис. 156 и 160), а свежую породу.

Нужно постоянно помнить, что задачей разведочных горных выработок является выяснение геологического строения и характера пород, а не выдача на поверхность определенного количества кубических метров грунта. Следовательно, как бы успешно ни были выполнены горно-разведочные выработки, они теряют всякий смысл, если при этом не будут сделаны необходимые геологические наблюдения. Записи и зарисовки этих наблюдений при проведении разведочной выработки называются ее геологической документацией. Чем тщательнее проведена документация, тем ценнее полученные данные. Документация выработок, проходимых с креплением, должна производиться до установления крепи. В противном случае требуется снятие крепи, что дорого и опасно, или же геологических данных не будет и проделанная работа будет лишена смысла.

Документация состоит из геологического описания, зарисовок наиболее важных и интересных геологических фактов и отбора образцов пород. Главнейшими элементами, которые непременно должны быть задокументированы, являются: 1) характер вскрытых горных пород — изверженные, осадочные, метаморфические, коренные, наносы; 2) элементы залегания; 3) последовательность; 4) характер наслоения для осадочных пород и

характер контактов для изверженных; 5) мощность отдельных пластов, жил и т. д. 6) цвет, твердость, состав, текстура и структура пород; 7) трещиноватость, кливаж, отдельные конкреции, прожилки и жилы; 8) остатки ископаемой фауны и флоры; 9) водоносность и устойчивость пород; 10) полезные ископаемые.

При документации горизонтальных выработок измеряют расстояние до границ слоев и контактов от начала выработки, а при вертикальных — глубину от поверхности земли.

Буровые работы. Бурением называется процесс, с помощью которого проходят выработки круглого поперечного сечения, получившие название буровых скважин. Характерной чертой буровых скважин является весьма значительное отношение их глубины к диаметру поперечного сечения. Благодаря скорости проходки на глубины, которые часто совершенно недоступны для других видов горных работ, и дешевизне, бурение в изыскательных работах имеет в настоящее время первостепенное значение. Отрицательной стороной бурения является то, что горные породы не могут изучаться непосредственно в буровых скважинах, а должны исследоваться лишь по извлекаемым образцам. Последние часто бывают настолько изменены, что трудно определить, продукт разрушения какой породы они собой представляют. Однако способы бурения все более совершенствуются и вопрос получения хороших образцов при разведочном бурении разрешается положительно.

По способу разрушения горной породы бурение подразделяется на ударное и вращательное, а по характеру силы, приводящей буровой инструмент в движение, — на ручное и механическое.

Набор буровых инструментов, позволяющих бурить ручным способом на определенную глубину, называется буровым комплектом. Количество и размер частей бурового комплекта зависят от глубины, на которую бурение им возможно, но в основном все оборудование может быть подразделено на шесть групп: 1) трубы и штанги, 2) принадлежности штанг, 3) принадлежности обсадных труб, 4) принадлежности копра, 5) рабочий инструмент и 6) ловильный инструмент.

Наиболее простым видом бурения, который обычно применяется в изыскательных партиях, является ручное ударно-вращательное бурение, которое производится буровым комплектом, рассчитанным на глубину бурения до 30 м. Вращательное бурение применяется при проходке мягких пород, а ударное при проходке твердых и крепких горных пород.

Процесс разрушения горной породы в забое скважины производится вращательными или ударными буровыми инструментами. К вращательным инструментам относятся змеевик и ложка, к ударным — желонка и долота различных конструкций. Змеевик или спиральный бур представляет собой обыкновенный бурав (рис. 162, А) длиной 0,4—0,5 м. Он удобен для

работы в мягких глинах, суглинках и сильно глинистых песках, которые достаточно пластичны, чтобы удерживаться на его лопастях (рис. 163). Для бурения в менее пластичных и более разжиженных сплывающих с змеевика грунтах употребляется ложка. Это полый стальной цилиндр 0,5—0,7 м длиной, с продольной прорезью, в которую входит буримая порода (рис. 162, Б). Чем более разжижены проходимые скважиной породы, тем ее более узкой прорезью нужна ложка. На нижнем конце ложка часто бывает снабжена несколькими спиральными витками, что облегчает погружение в породу. Ось ложки обычно эксцентрична по отношению к оси штанг, вследствие чего получается скважина большего диаметра, чем диаметр ложки, и уменьшается трение ложки о стенки скважины.

Когда порода настолько насыщена водой, что она не удерживается на ложке, а также когда требуется откачка воды из

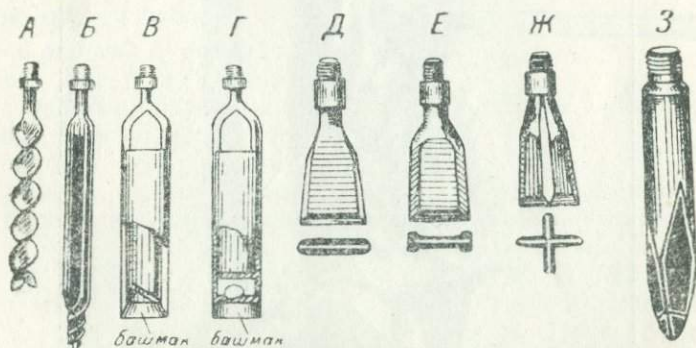


Рис. 162. Буровой рабочий инструмент.

буровой скважины, пользуются желонкой. Это — пустотелый цилиндр длиной от 0,7 м и больше, к рабочему концу которого привинчивается стальной острый башмак (рис. 162, В и Г). Над башмаком расположен тарельчатый или шаровой клапан (рис. 162, В и Г). При погружении желонки, порода или вода открывает клапан и входит внутрь цилиндра. При подъеме содержимое желонки давит на клапан и закрывает отверстие. Для подъема воды или сильно разжиженных грунтов желонки с тарельчатым клапаном менее пригодны, чем с шариковым. Под тарельчатый клапан часто попадают песчинки и остается щель, через которую во время подъема вытекает содержимое желонки. После того как желонка извлечена из скважины, ее чистят, поднимая клапан вверх каким-либо твердым предметом. Если грунт оказался более густой, желонку приходится запрокидывать и удалять извлеченную из скважины породу через верхнее отверстие.

В твердых породах скважины проходят ударным способом, применяя в качестве рабочего инструмента долото и желонку, с помощью которой производится очистка скважины от измель-

ченной долотом породы — буровой муки. Существует много типов долот, наиболее употребительными из которых являются: 1) обыкновенное, 2) фасонное, 3) крестовое и 4) пирамидальное.

Обыкновенное долото состоит из плоской лопатки, заостряющейся внизу в лезвие, грани которого пересекаются под углом 45° , 60° или 90° (рис. 162, Д).



Рис. 163. Бурение змеевиком.

Фасонное долото отличается от обыкновенного тем, что его лезвие по бокам имеет перья, внешняя сторона которых представляет собой дугу окружности скважины выбранного диаметра (рис. 162, Е). Это облегчает придание буровой скважине формы правильного цилиндра.

Крестовое долото имеет два пересекающихся под прямым углом лезвия (рис. 162, Ж). Оно служит для разбивания особенно твердых горных пород.

Пирамидальное долото имеет лезвие в форме четырехгранной пирамиды (рис. 162. 3). Оно употребляется для разбивания или отодвигания в сторону отдельных камней.

При бурении на небольшой глубине, собственного веса долота и штанг недостаточно для разрушения крепких горных пород. В этом случае, для увеличения веса, прибегают к помощи ударной штанги, которая представляет собой сплошной железный или стальной стержень круглого или квадратного сечения, длиной от 1 м и более.

Весь рабочий буровой инструмент имеет в верхних концах нарезку, посредством которой с помощью муфт соединяется с рабочими штангами, т. е. пустотелыми трубами. В зависимости от типа бурового комплекта, наружный диаметр штанг бывает от 33 до 48 мм, а внутренний от 23 до 36,5 мм. Длина отдельных штанг бывает 1,2—2 м. Друг с другом штанги соединяются с помощью муфт. Свинчивание и развинчивание штанг между собой и с рабочим инструментом производится клещами (рис. 164, А, Б и В) разных образцов. При сильном завинчивании штанг их развинчивают цепными ключами (рис. 164, Г).

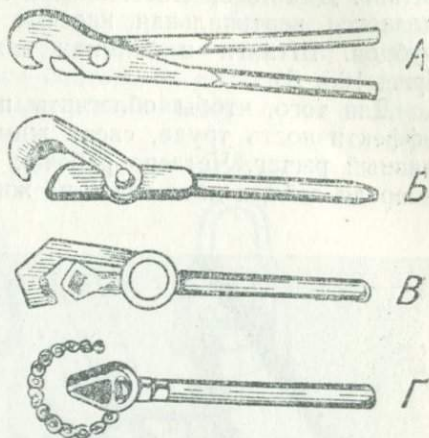


Рис. 164. Клещи (А, Б, В) и цепной ключ (Г).

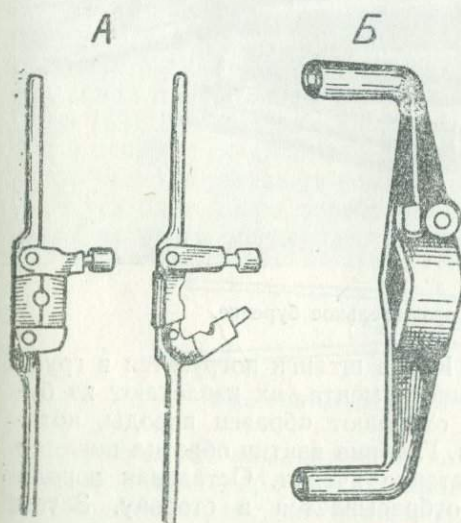


Рис. 165. Жимки (А) и поворотный ключ (Б).

Вращательное бурение начинается с того, что штангу с привинченной к ней ложкой или змеевиком устанавливают вертикально и начинают вращать по ходу часовой стрелки. Вращение производится жимками, которые закрепляются на штангах на высоте около 1 м. Жимки (рис. 165, А) состоят из двух щек, одна из которых представляет одно целое с рукоятками, а другая делается откидной, прикрепленной на шарнире к первой.

Вращательное бурение начинается с того, что штангу с привинченной к ней ложкой или змеевиком устанавливают вертикально и начинают вращать по ходу часовой стрелки. Вращение производится жимками, которые закрепляются на штангах на высоте около 1 м. Жимки (рис. 165, А) состоят из двух щек, одна из которых представляет одно целое с рукоятками, а другая делается откидной, прикрепленной на шарнире к первой.

Вращение производится жимками, которые закрепляются на штангах на высоте около 1 м. Жимки (рис. 165, А) состоят из двух щек, одна из которых представляет одно целое с рукоятками, а другая делается откидной, прикрепленной на шарнире к первой.

Внутри щек делаются углубления, из которых при соединении щек получается круглое отверстие, соответствующее диаметру штанг. Для того, чтобы жимки крепче держали, в углублениях делается вертикальная насечка в виде параллельных острых зубцов. Штанги в жимках зажимаются с помощью винта (рис. 165, А).

Для того, чтобы облегчить процесс вращения и повысить эффективность труда, сверх жимков укрепляют длинный деревянный рычаг. Четверо рабочих ходят по кругу, толкая рычаг впереди себя, а двое сидят на жимках для увеличения давления



Рис. 166. Ручное вращательное бурение.

на забой скважины (рис. 166). Когда штанги погрузятся в грунт примерно на длину рабочего инструмента, их извлекают из буровой скважины (рис. 163) и отбирают образец породы, который кладут в ящик с ячейками. Глубина взятия образца пишется химическим карандашом на стенке ячейки. Остальная порода счищается с инструмента и отбрасывается в сторону. Затем буровой инструмент снова опускается в скважину и процесс бурения продолжается.

Когда буровая скважина углубляется настолько, что буровая штанга становится короткой, ее удлиняют, навинчивая на нее вторую, затем третью штангу и т. д. При большой глубине скважины, колонна штанг становится для подъема на руках

слишком длинной и тяжелой. Тогда устанавливают трехногий или четырехногий копер (рис. 166) из толстых бревен длиной 12—18 м. При неглубоком бурении, когда копер часто приходится переносить с одного места на другое, бывает целесообразно делать его из более коротких и менее толстых бревен. Макушки ног копра скрепляются болтом, на который вешается блок (рис. 167, А и 169), а копли устанавливаются на землю.

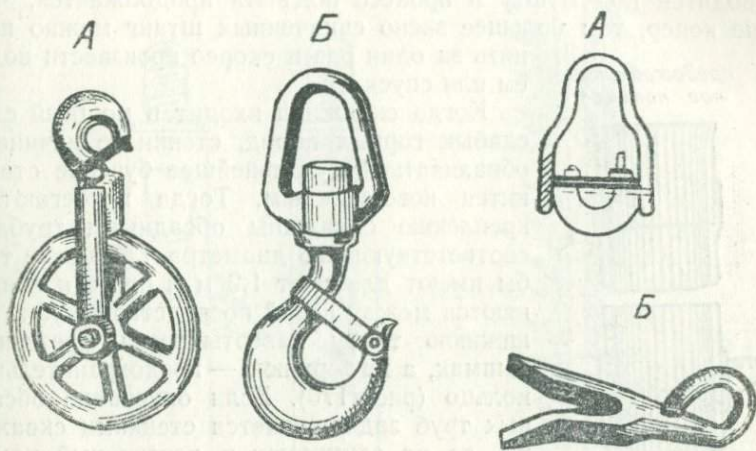


Рис. 167. Принадлежности копра. Рис. 168. Принадлежности штанг.

Для того, чтобы можно было подниматься к блоку, на одной из ног копра прикрепляют перекладки, врезая их в бревно (рис. 166 и 169). Ноги копра располагают так, чтобы центр его совпал с центром скважины. Для удобства работы в верхней части копра часто устраивают помост.

Через блок копра перебрасывают стальной канат, к одному концу которого прикрепляется подъемный крюк (рис. 167, Б),

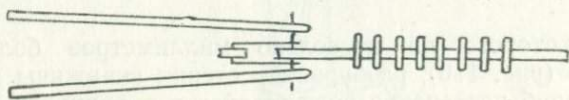


Рис. 169. Схема копра перед установкой.

а второй конец наматывается на барабан воротка, закрепленного на ногах копра или установленного отдельно (рис. 166). При подъеме штанг, для подвешивания их пользуются ф а р ш т у л е м. Он представляет собой железное полукольцо, вращающееся на шипах, закрепленное в дужке (рис. 168, А). Полукольцо закрывается планкой, один конец которой вращается на оси, а другой имеет вырез в виде крючка и закрывается на стержень в теле полукольца. Полукольцо вмещает штанги, но не пропускает муфту. Подвешенный за дужку и за подъемный крюк фар-

штуль подводят под муфту торчащей из скважины штанги и с помощью воротка поднимают буровой инструмент. Когда фарштуль поднят до блока, под нижнюю муфту кладут подкладную вилку (рис. 168, Б), в прорезь которой входит штанга, а муфта задерживается. После этого рабочий на помосте освобождает штанги из фарштуля, а рабочие внизу отвинчивают штанги и ставят их в сторону. Затем фарштуль спускается вниз, подводится под муфту и процесс подъема продолжается. Чем выше копер, тем большее звено свинченных штанг можно поднять за один раз и скорее произвести подъем или спуск их.

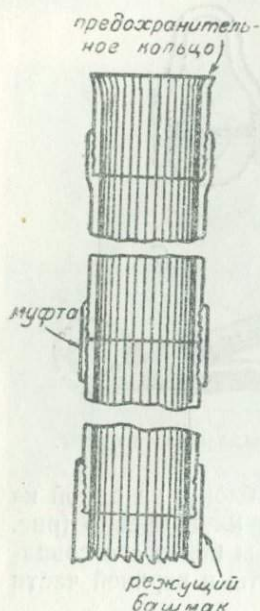


Рис. 170. Колонна обсадных труб.

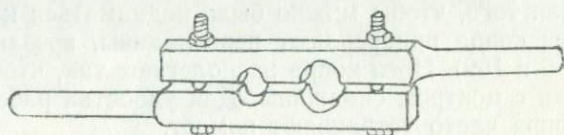


Рис. 171. Деревянный хомут для обсадных труб.

Когда скважина входит в мощный слой слабых горных пород, стенки ее начинают обваливаться и дальнейшее бурение становится невозможным. Тогда прибегают к креплению скважины обсадными трубами соответствующего диаметра. Обсадные трубы имеют длину от 1,2 м и более и соединяются между собой посредством муфт. На нижнюю трубу навертывается фрезерный башмак, а на верхнюю — предохранительное кольцо (рис. 170). Если опускание обсадных труб задерживается стенками скважины, то их зажимают в деревянный хомут (рис. 171) и вращают по ходу часовой стрелки. При этом фрезерный башмак,

диаметр которого на несколько миллиметров больше диаметра труб (рис. 170), разбуривает стенки скважины и колонна обсадных труб постепенно погружается в скважину. Часто прибегают также к ударам специальной колотушкой по предохранительному кольцу. Если же вследствие бокового давления диаметр скважины настолько уменьшился, что все принятые меры не дают положительного результата, то для ее расширения пользуются эксцентричным буровым инструментом и специальными расширителями (рис. 172). Сжатый расширитель свободно проходит в обсадных трубах, но ниже труб под давлением пружины при каждом движении сверху вниз резы расширителя расходятся и срезают породу со стенок скважины.

Когда скважина закреплена, ее бурение продолжается инструментами меньшего диаметра. Бурение ведется до тех пор,

пока снова начнется обрушение стенок скважины. Тогда опускают вторую колонну обсадных труб, которая входит в пер-

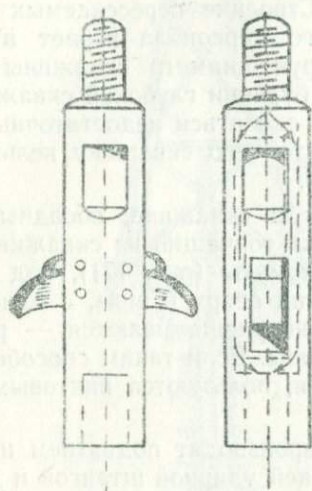


Рис. 172. Расширитель.

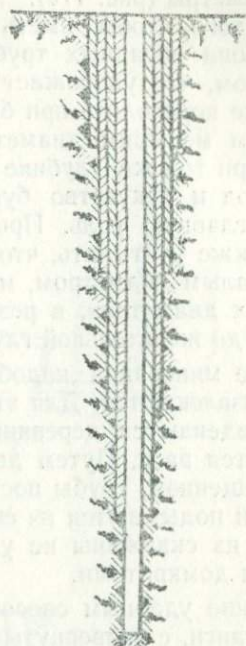


Рис. 173. Схема скважины, закрепленной четырьмя колоннами труб.

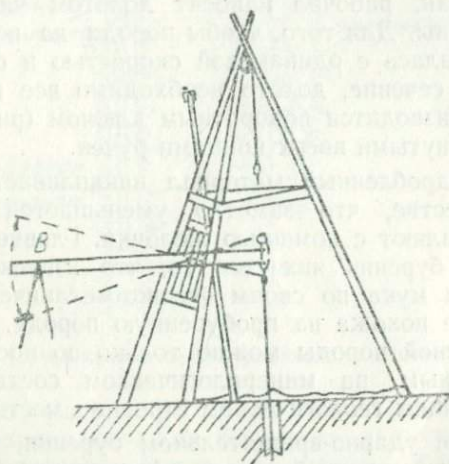


Рис. 174. Схема балансира.

вую, и закрепляют следующий участок скважины. В случае надобности опускают третью колонну труб, и т. д. пока есть меньшие диаметры (рис. 173).

Для того, чтобы иметь возможность крепить скважину рядом колонн обсадных труб, бурение нужно начинать большим диаметром, что удорожает производство работ. Таким образом, чем реже переходить при бурении с большего диаметра на меньший, тем меньшим диаметром можно начинать бурение скважины, при той же глубине ее. Строение пересекаемых скважиной пород и искусство бурящего персонала играет в данном случае главную роль. Проектируя диаметр скважины необходимо также учитывать, что при бурении глубокой скважины, начатой малым диаметром, может оказаться недостаточным число запасных диаметров, в результате чего скважину нельзя будет довести до желательной глубины.

После минования надобности в скважине, обсадные трубы из нее извлекаются. Для этого на торчащий из скважины конец трубы надеваются деревянные хомуты (рис. 171), под которые подводятся ваги. Путем движений вверх и вниз, с одновременным вращением, трубы постепенно расшатываются, — расшатываются и поднимаются из скважины. Если таким способом трубу извлечь из скважины не удастся, пользуются винтовыми бутылочными домкратами.

Бурение ударным способом производят поднятием и опусканием штанги, с привернутыми к ней ударной штангой и долотом, которое постепенно измельчает породу. Для облегчения труда и увеличения частоты ударов при этом пользуются балансиром, т. е. неравноплечным рычагом, к короткому плечу которого прикреплены штанги, а к концу длинного — веревки (рис. 174). Держая за веревки, рабочие наносят долотом частые удары по забою скважины. Для того, чтобы порода на всем забое скважины разрушалась с одинаковой скоростью и скважина сохраняла круглое сечение, долото необходимо все время поворачивать. Это производится поворотным ключом (рис. 165, Б), т. е. хомутом с загнутыми вверх концами ручек.

Когда раздробленный материал накапливается на забое в таком количестве, что заметно уменьшается эффективность удара, его удаляют с помощью желонки. Главнейшим недостатком ударного бурения является то, что извлекаемая из скважины буровая мука по своим физико-механическим свойствам совершенно не похожа на пробуренную породу. Судить о свойствах пройденной породы можно только по косвенным признакам, основанным на минералогическом составе полученных образцов и общем геологическом строении местности.

При ручном ударно-вращательном бурении, после того, как пройден твердый пласт, бурение снова продолжают вращательным способом. При переходе к глубокому бурению эти два способа бурения дифференцируются. Глубокие скважины полно-

стью проходятся или ударным или вращательным бурением. Способ бурения выбирается при проектировании скважины.

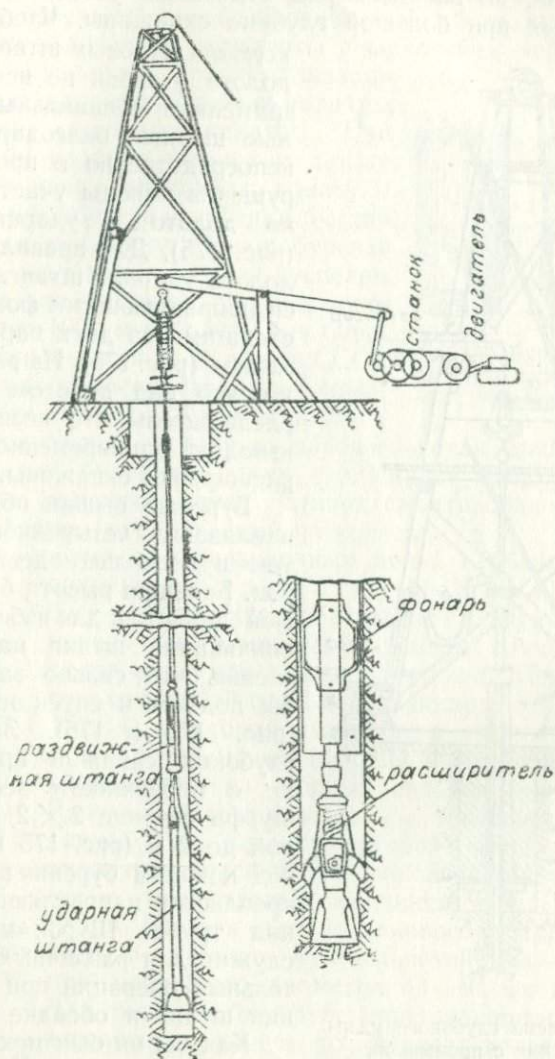


Рис. 175. Схема механического ударного штангового бурения.

Глубокое ударное бурение применяется обыкновенно для проходки скважин большого диаметра на воду и нефть. Ручным способом бурят, как правило, скважины не более 100 м. При бурении более глубоких скважин применяется механический способ проходки. В этом случае устанавливается спе-

циальный ударно-буровой станок, балансир и лебедка которого приводятся в движение нефтяным или паровым двигателем. Принцип проходки скважины остается тот же, что и при ручном бурении, но вводится ряд отдельных усовершенствований, необходимых при большой глубине скважины. Чтобы длинная

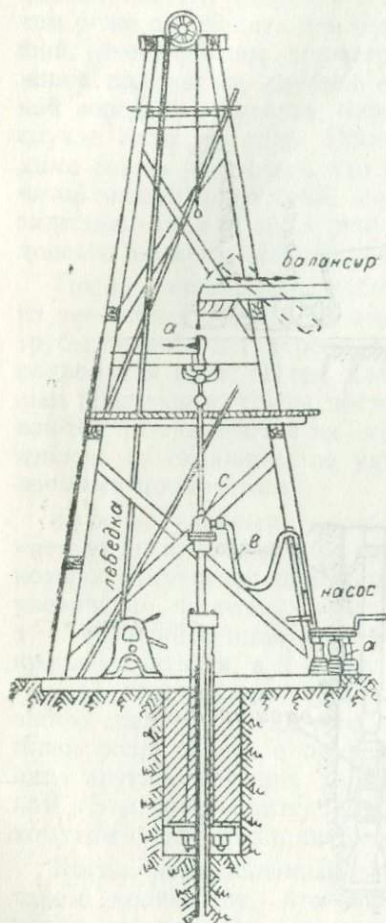


Рис. 176. Схема глубокого ударного бурения с промывкой.

колонна буровых штанг при ударе долота о забой не искривлялась, применяют специальные раздвижные штанги, благодаря которым непосредственно в процессе разрушения породы участвуют только долото и ударная штанга (рис. 175). Для правильного хода долота ударная штанга снабжается направляющими фонарями, состоящими из двух пар изогнутых планок (рис. 175). Из рисунка видно, что над долотом укрепляют расширитель, что позволяет производить одновременно бурение и расширение скважины.

Буровые вышки обычно устанавливают четырехугольные, высотой в несколько десятков метров. Большая высота буровых вышек делается для избежания развинчивания штанг на короткие звенья, что сильно задерживало бы подъем и спуск инструмента (рис. 175 и 176). Забуривание глубоких скважин производится не с поверхности земли, а из шурфа сечения 2×2 м и глубиной до 2 м (рис. 175 и 176). Перед началом бурения в шурфе закрепляется направляющая обсадная труба. Шурф, кроме того, служит для различных вспомогательных операций при наращивании штанг и обсадке скважины.

Как бы ни был механизирован подъем штанг, при большой глубине бурения он занимает много времени, а извлечение штанг перед каждой чистой скважины желонкой сильно тормозит бурение. Чтобы избежать этого, производят ударное бурение с промывкой скважины (рис. 176). Вода через полые штанги нагнетается в скважину, оmyвая забой струей, выходящей через отверстия в долоте. Затем в промежутке между штангами и стенками скважины вода поднимается на поверхность и выносит бу-

Как бы ни был механизирован подъем штанг, при большой глупине бурения он занимает много времени, а извлечение штанг

ревую муку в виде мути, называемой шламом. Ударное бурение с промывкой сильно ускоряет проходку скважин, но для разведочных целей мало пригодно, так как определять по шламу характер пробуренных пород еще труднее, чем по буровой муке. Кроме того, при этом способе бурения могут быть пройдены незамеченными водоносные горизонты с небольшим дебитом.

Другим способом рационализации подъема при ударном бурении является замена штанг стальным канатом. При этом способе ударная штанга и долото или желонка прикрепляются к канату и с помощью механической лебедки быстро спускаются в скважину. Такое бурение называется канатным и с успехом применяется для скважин, глубина которых достигает 1000 м и более. Для бурения разведочных скважин на воду в СССР получил широкое распространение самоходный станок канатного бурения системы Кейстон. Этот станок состоит из парового котла, машины, приспособления для бурения и двух сходящихся кверху высоких мачт, которые заменяют копер. Станок смонтирован на деревянной платформе, передвигаемой на колесах.

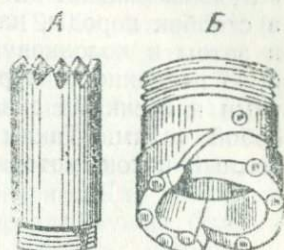


Рис. 177. Буровые коронки: А — зубчатая, Б — алмазная.

Последнее время для разведочных целей особенно широко применяется вращательное колонковое бурение. Непосредственно действующим на породу инструментом в данном случае является зубчатая или алмазная коронка. Первая представляет собой стальной цилиндр с зубьями (рис. 177, А), а вторая изготовлена из мягкой стали с насаженными на нижней части алмазами или суррогатами из твердых сплавов (рис. 177, Б). Коронка навертывается на колонковую трубу длиной 2 м, диаметр которой немного меньше диаметра коронки. Колонковая труба посредством переходника соединяется с колонной штанг. Штанги для колонкового вращательного бурения делают из цельнотянутых стальных труб наружного диаметра 33—40 мм и больше. Для того, чтобы трубы при вращении не скручивались, толщина их стенок делается от 6 до 12 мм. Отдельные штанги длиной в 2 м и более соединяются друг с другом внутренними ниппелями (рис. 178, А и Б).



Рис. 178. Ниппель (А) и отрезок штанги с ниппелем (Б).

Колонковое вращательное бурение ведется всегда с промывкой. Для этого бурения применяются специальные станки различных конструкций, среди которых максимальное распространение получили станки типа Креднус. Станок и насос, нагнетающий воду в скважину, приводятся в движение обыкновенно нефтя-

ным двигателем. Процесс бурения состоит в том, что буровой станок приводит во вращательное движение колонну штанг с колонковой трубой и коронкой на забое скважины. Одновременно через сальник, навернутый на верхний конец вращающихся штанг, внутрь их нагнетается вода. Вращаясь, коронка высверливает в забое скважины кольцевое углубление, а столбик породы, называемый керном, входит внутрь коронки, а затем в колонковую трубу. Нагнетаемая вода омывает трещающую поверхность коронки, охлаждая ее, а затем между штангами и стенками скважины выходит на поверхность, вынося с собой шлам. Таким образом, устанавливается непрерывный водный поток, который одновременно охлаждает инструмент и очищает скважину от мелко истертого материала. Если воды имеется достаточное количество, то в скважину все время нагнетается свежая вода, если же воды мало, то вытекающая из скважины вода собирается в специально вырытых отстойных бассейнах и, после того как шлам осядет, снова употребляется для промывки скважины. При бурении в трещиноватых или карстовых породах нередко наблюдается частичная или полная потеря промывной воды; в этом случае способ промывки оборотной водой неприменим.



Рис. 179. Ловильный инструмент: А — счастливый крючок, Б — колокол, В — метчик.

Когда керн полностью заполнит колонковую трубу, его заклинивают помощью твердого материала, насыпанного сверху в штанги, или путем бурения всухую. При бурении в твердых нетрещиноватых породах отдельные куски керна получаются до метра длиной, обыкновенно же это отдельные цилиндры в несколько сантиметров каждый. Таким образом, при колонковом бурении получаются ненарушенные образцы горных пород, расположенные в колонковой трубе в той последовательности, в какой они залегают в земле. Это дает возможность достаточно точно установить глубину границ отдельных пластов и построить геологический разрез скважины. Однако, выход керна, как правило, не достигает 100%, а бывает меньше; в рыхлых мелкозернистых породах он может быть равен нулю. При проходке таких пород границы между пластами и характер слагающих пород определяются по ходу бурения и по шламу, выносимому из скважины промывочной водой. Исключительная точность геологических данных и большая скорость проходки делают колонковое бурение самым совершенным видом разведочного бурения.

Часто при бурении случаются неполадки — аварии, которые задерживают процесс бурения. Аварии происходят в резуль-

тат: самых разнообразных причин: обрыва штанг или каната, обвала стен незакрепленной своевременно скважины, заклинивания бурового инструмента во время бурения и т. п. Для извлечения оставшихся в скважине штанг, каната, желонки и прочего бурового снаряжения применяется ловильный инструмент. Сплошные штанги с обваркой достают с помощью «счастливого крючка» (рис. 179, А) или колокола (рис. 179, Б), который изготавливается из высокопрочной стали и имеет внутреннюю нарезку. Пустотелые штанги извлекают метчиком (рис. 179, В), который при вращении врезается внутрь штанги. Насколько разнообразны аварии, настолько различны конструкции ловильных инструментов, которые нередко приходится специально изготавливать для ликвидации той или иной аварии. Для избежания аварии в труднопроходимых бурением породах нужна большая опытность и изобретательность бурового мастера. Ликвидация аварии часто длится месяцами и нередки случаи, когда пробуренную на глубину нескольких сот метров скважину оставляют, а рядом приступают к бурению новой.

Своевременная тщательная геологическая документация буровых скважин еще более важна, чем документация горных разведочных выработок. Всякий незадокументированный своевременно участок скважины является пробелом, который потом нельзя заполнить.

Во время бурения скважины, на месте работ ведется буровой журнал. Он должен включать по возможности все явления, наблюдавшиеся в процессе бурения. Формы буровых журналов бывают различные, но все они дают описание пересеченных горных пород, глубину их залегания и мощность. Кроме того, в журнале приводятся данные о воде и ряд сведений технического порядка (способ и скорость бурения, крепление, диаметр скважины и т. п.), которые также дают ценные косвенные указания на характер пробуренных пород.

Для наглядности и удобства пользования, геологические разрезы, полученные при проходе горно-разведочных выработок и буровых скважин, вычерчивают в виде колонок, выбирая такой масштаб, чтобы в нем можно было отложить все пересеченные слои (рис. 194).

Геофизические методы исследований

Геофизическими методами геологических исследований называются такие, при которых для обнаруживания горных пород и выяснения условий их залегания используются различия физических свойств отдельных пластов. Главным преимуществом геофизических методов является то, что все наблюдения производятся с поверхности земли. Это в свою очередь обуславливает большую скорость проведения исследовательских работ и их дешевизну. Геофизические методы исследования применяются как при мелкомасштабных геологических съемках, так и при

детальных геолого-разведочных работах для инженерных целей и при оконтуривании залежей полезных ископаемых.

Различают четыре основных метода геофизических исследований, которые нашли особенно широкое применение: магнитометрический, гравиметрический, электрический и сейсмический.

Магнитометрический метод или магнитометрия является наиболее старым и самым известным методом прикладной геофизики. Он основан на различии магнитной проницаемости пород. При магнитометрических съемках определяют горизонтальную и вертикальную составляющие магнитного поля, наблюдая склонение и наклонение магнитной стрелки. Различают грубую магнитометрию, применяющуюся при поисках магнетитовых руд, и микромагнитометрию, которая пригодна для исследования прочих горных пород. Наибольшее применение микромагнитометрия получила при решении вопросов глубинной геологии. С помощью ее оконтуривают подземные массивы и хребты изверженных пород и прослеживают тектонические линии, не получая данных о глубине.

Гравиметрический метод основан на различии плотностей отдельных горных пород. Наблюдаемые на поверхности этим методом градиенты силы тяжести дают указания на наличие на глубине повышенной или пониженной плотности. Это позволяет оконтуривать основные элементы подземного рельефа и делает метод особенно ценным для прослеживания подземных антиклиналей, синклиналей и сбросов. Также как и магнитометрический метод, гравиметрический метод сведений о глубине не дает.

Электрический метод или электроразведка объединяет целую группу методов, среди которых самое широкое применение получил метод постоянного тока. Он основан на том, что каждой горной породе свойственно определенное удельное сопротивление, а это позволяет определить глубину залегания пород, что дает этому методу большое преимущество перед другими геофизическими методами. Метод электроразведки постоянным током подразделяется на электробурение, электропрофилирование и карротаж.

Электробурение применяется, когда нужно проследить изменение пород по вертикали. Самые хорошие результаты оно дает в том случае, если не имеется вертикальных границ раздела, а пласты в горизонтальном направлении выдерживаются на больших расстояниях и имеют горизонтальное или пологое залегание.

Электропрофилирование дает возможность проследить изменения пород в каком-нибудь направлении. Особенно хорошие результаты получаются при крутопадающих пластах или при наличии вертикальных границ раздела.

Карротаж позволяет определять водоносные слои, а при строительстве Саранской плотины он был применен также для выяснения степени фильтрации воды.

Электроразведка часто применялась при выборе места под

плотины и гидроэлектростанции и давала хорошие результаты. Например, при выборе места под плотину Свирской гидроэлектростанции нужно было выявить подземный рельеф девонских пород, перекрытых четвертичными отложениями. Электроразведка, произведенная на площади 1 км², правильно отразила поверхность девона, что было проверено контрольными буровыми скважинами. Для выяснения подземного рельефа коренных пород под аллювием электроразведка была также использована при проектировании Камышинской плотины на Волге. При изысканиях в области вечной мерзлоты электроразведка позволяет определить поверхность залегания вечной мерзлоты, так как удельное сопротивление мерзлого грунта гораздо больше, нежели талого. Электробурением в одной точке в разное время года можно также выяснить колебания границ вечной мерзлоты в течение года. Электроразведка применяется и для выявления карста. Роль электротриеметрии при выявлении геологического строения местности уже сейчас значительна и с каждым днем возрастает.

Сейсмометрия основана на определении скорости распространения упругих колебаний в горных породах. Волны в породах вызываются взрывами, причем, чем сильнее взрыв, тем на большую глубину можно производить наблюдения. Сейсмометрия дает данные о глубине и получила широкое применение для выявления геологических структур, скрытых на больших глубинах.

Особенностью всех геофизических методов исследований является то, что они с успехом могут быть применены только тогда, когда уже есть общая геологическая схема и известны основные физические свойства горных пород. При этих условиях геофизические методы позволяют уточнить целый ряд индивидуальных черт в геологическом строении исследуемого района, знание которых необходимо для оценки его инженерно-геологических особенностей.

В последнее время методика геофизических исследований и аппаратура быстро совершенствуются, что увеличивает точность получаемых данных и еще более способствует внедрению их в практику геолого-разведочных работ.

Геологические карты и разрезы

Полевые фактические материалы: образцы пород, остатки ископаемой фауны и флоры, топографические карты с нанесенными на них обнажениями и наблюдаемыми в поле границами выходов пород, записи в полевом дневнике, зарисовки и т. п. подвергаются в зимнее время тщательной камеральной обработке.

Для уточнения и проверки сделанных в поле определений, горные породы изучают в шлифах под микроскопом. В то же время выполняют необходимые химические анализы и производят окончательные определения обнаруженных в породах окислителей. В результате изучения, сопоставления и сводки всех ма-

териалов, составляют отчет о работах, который состоит из геологической карты изученной территории, снабженной наиболее характерными геологическими разрезами, и описания геологического строения.

Геологические карты. Геологическая карта представляет собой проекцию геологических границ на горизонтальную плоскость; она является главнейшим документом, подытоживающим наши знания о геологическом строении данной территории. Так как вся земная поверхность покрыта четвертичными породами, а более древние отложения обнажаются только в редких случаях, то при составлении геологической карты на ней были бы фактически изображены одни четвертичные отложения. Для избежания этого для одной и той же территории составляют две карты: карту четвертичных отложений, называемых часто наносами, и карту всех более древних горных пород, которые обычно называют коренными. На карте коренных пород четвертичные отложения не показаны, а геологические границы коренных пород нанесены так, как будто бы они на всей территории выходят непосредственно на поверхность. Однако на тех площадях, где мощность четвертичных пород значительна и известно какие породы залегают ниже, четвертичные отложения на карте оставляют не снятыми (рис. 180). Кроме того, с карты не снимают также аллювиальные отложения вдоль речных долин, так как они не только не затемняют карты, но придают ей рельефность, выделяя участки наиболее интенсивного размыва и места накопления современных отложений.

Геологические карты составляются в самых разнообразных масштабах, в зависимости от степени детальности геологической съемки. В Советском Союзе проведена стандартизация масштабов карт, которые в настоящее время составляют: 1) обзорные государственные карты в масштабах 1:5 000 000 и 1:2 500 000, 2) обзорные республиканские и краевые карты в масштабе 1:1 000 000, 3) региональные карты в масштабах 1:200 000, 1:100 000 и 1:50 000 и 4) детальные карты для районов и отдельных участков строительства, месторождений полезных ископаемых и т. п. в масштабах 1:25 000, 1:10 000, 1:5 000, 1:1 000 и в более крупных, если этого требуют очень сложные геологические условия и назначение карт.

Очень мелкие масштабы обзорных и региональных карт не позволяют выделять отдельные слои или свиты пород, поэтому породы на них наносят целыми группами, системами и отделами, в зависимости от детальности карты. Так как каждая группа, система, отдел и т. д. образовались в определенное время, то этот метод отображения пород придает геологической карте исторический характер. Однако и при таком объединении пород не всегда можно изобразить в масштабе проекцию той или иной системы отложений. Между тем, показать ее на карте необходимо, так как в противном случае будут пропущены породы, которые в действительности выходят на поверхность земли. Во

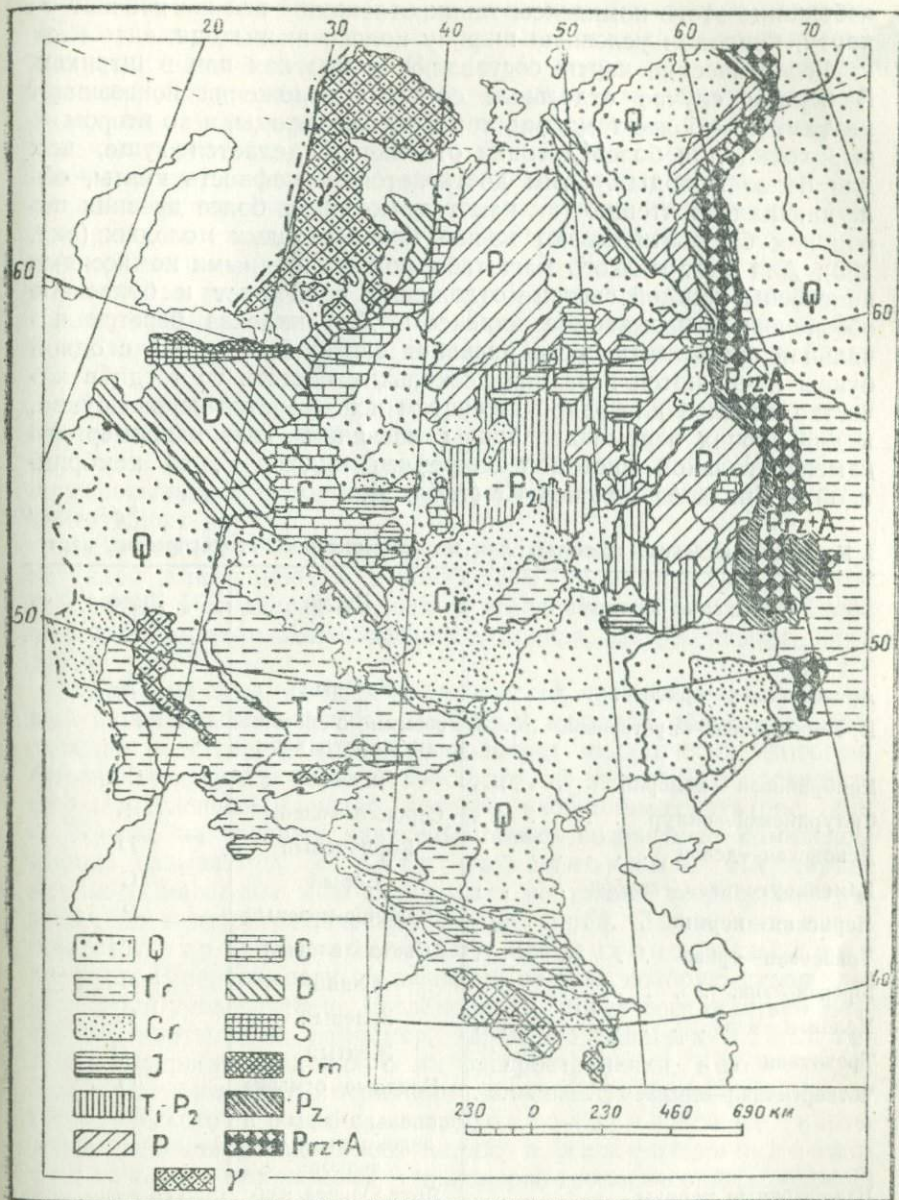


Рис. 180. Схематическая геологическая карта Европейской части СССР. 1 — четвертичная система, 2 — третичная система, 3 — меловая система, 4 — юрская система, 5 — пермо-триасовая континентальная толща, 6 — пермская система, 7 — каменноугольная система, 8 — девонская система, 9 — силурийская система, 10 — кембрийская система, 11 — нижний палеозой, 12 — протерозойская и архейская группы, 13 — извощенные породы.

избежание этого комплексы таких отложений все же наносят на карту, придавая условную ширину полосе их выхода.

Геологические карты составляют в красках или в штрихах. В первом случае отдельные системы отложений показываюг цветами тем более темными, чем древнее породы, а во втором — штриховка для более древних отложений делается гуще, чем для более молодых. Этим достигается рельефность карты, облегчающая ее чтение, так как темные пятна более древних пород как бы выглядывают из-под более светлых молодых (рис. 180). Для карт мелкого масштаба международными комиссиями присвоены каждой системе отложений свой цвет и буквенное обозначение, называемое индексом. Для индекса берется начальная буква латинского названия системы. Если же с одной буквы начинаются названия нескольких систем, то тогда в качестве индекса для одной из систем используется первая буква, а для прочих первые две буквы названия. Так, например, за каменноугольной системой закреплен индекс С, за кембрийской — Сп, а за меловой Сг (табл. 9).

Таблица 9

Краски и индексы, принятые для мелкомасштабных геологических карт

Название системы	Цвет	Индекс
Архезойская—архей	Розовый	A
Протерозойская—протерозой	Розовый с розовыми же штрихами	Prz
Кембрийская—кембрий	Лиловый	Сп
Силурийская—силур	Серовато-зеленый	S
Девонская—девон	Коричневый	D
Каменноугольная—карбон	Серый	С
Пермская—пермь	Кирпично-красный	P
Триасовая—триас	Светлолиловый	T
Юрская—юра	Синий	I
Меловая—мел	Зеленый	Сг
Третичная	Желтый	Ti
Четвертичная—квартер	Бледные отмывы пепельно-серых и зеленоватых оттенков	Q
Изверженные породы	Яркие цвета различных оттенков независимо от возраста	Буквы греческого алфавита: α, β, γ и т. д.

Индексы ставятся как на условных обозначениях, так и на карте (рис. 180), что заметно облегчает ее чтение. Особенно это важно для карт, на которых встречаются похожие цвета.

Если на геологической карте выделены не только системы, но и отделы, то их показывают разными оттенками краски, присвоенной данной системе. При этом более древним отделам придают более темные оттенки, а молодым — более светлые. В данном случае индексы становятся совершенно необходимыми, так как перепутать отдельные оттенки очень легко. При обозначении отделов правее буквы индекса ставят цифру, которая показывает порядковый номер отдела, считая снизу вверх. Так, для нижнего отдела каменноугольной системы индекс будет C_1 , для среднего — C_2 и для верхнего — C_3 . Если на карте выделены и ярусы, то номер каждого яруса ставится справа сверху от буквы, обозначающей систему. Так, например, нижний карбон подразделяется на 5 ярусов, индексы которых снизу вверх будут C_1^1 , C_1^2 , C_1^3 , C_1^4 и C_1^5 .

Для геологических карт крупного масштаба, на которых имеют место очень дробные подразделения, цвета и штрихи подбираются самим автором, но так, чтобы они по возможности согласовывались с общими принципами, принятыми для мелко-масштабных карт.

Все условия обозначения геологической карты называются легендой и помещаются в свободном углу или снизу карты (рис. 180). Располагаются они в возрастном порядке от более молодых пород к более древним, кончая изверженными породами.

Кроме легенды, на всех геологических картах даются численный и линейный масштабы. Линейный масштаб облегчает определение расстояний, а также позволяет механически, фотографированием, придать карте любой другой масштаб. В последнем случае численный масштаб, конечно, необходимо снять (рис. 180).

Карты, на которых нанесены только возрастные комплексы пород, называются стратиграфическими. На картах крупного масштаба можно показать не только возрастные границы, но и петрографический состав пород. Тогда они называются петрографическими или литологическими картами. В зависимости от основной задачи, которую ставят перед собой геологические исследования, могут составляться различные карты. Так, например, карты полезных ископаемых содержат сведения о их распространении, геоморфологические карты отражают зависимость форм рельефа от геологического строения, гидрогеологические карты дают сведения о подземных водах, а инженерно-геологические — отображают инженерно-геологические условия данной территории. Для составления таких карт требуется или соответствующая целеустремленность при ведении геологической съемки или постановка специальных исследований, что почти всегда имеет место при составлении крупномасштабных карт.

Все геологические карты составляются на топографической основе соответствующего масштаба. При этом для избежания излишней перегруженности карты с топографической основы сни-

мается все, что не является необходимым для составления и чтения геологической карты.

Чтение геологических карт. При первом взгляде на геологическую карту получается впечатление пестрого рисунка без какой-либо закономерности. Однако, в действительности это не так, и стоит только немного внимательнее присмотреться к карте, чтобы увидеть, что краски на ней располагаются в определенной последовательности, в зависимости от геологического строения и форм рельефа, созданных денудацией, т. е. разрушением и сносом горных пород или тектоническими процессами. Изображение рельефа на геологических картах сильно облегчает

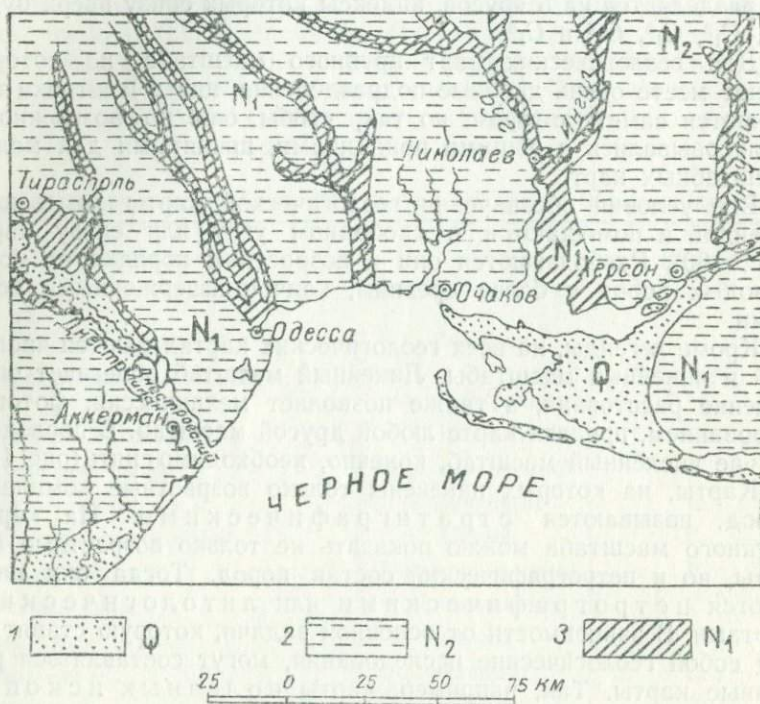


Рис. 181. Геологическая карта южной Украины:
1 — четвертичные отложения, 2 — плиоцен, 3 — миоцен.

их чтение, почему чтение карт в горизонталях является наиболее легким. Однако на горизонтали можно рассчитывать только при крупном масштабе карт. О характере рельефа, об относительных превышениях и абсолютных отметках на обзорных и региональных картах приходится судить по направлению течения рек, густоте гидрографической сети и по другим косвенным признакам.

При горизонтальном залегании горных пород и плоском равнинном рельефе местности все более древние осадки скрыты на

глубине. Геологическая карта в этом случае будет закрашена одной краской, соответствующей залегающей сверху системе отложений. Если же речные долины прорезают верхнюю систему отложений, то вдоль их будут выходить на поверхность более древние осадки. При этом границы между отложениями будут совпадать с горизонталями рельефа (рис. 181). В крупном мас-

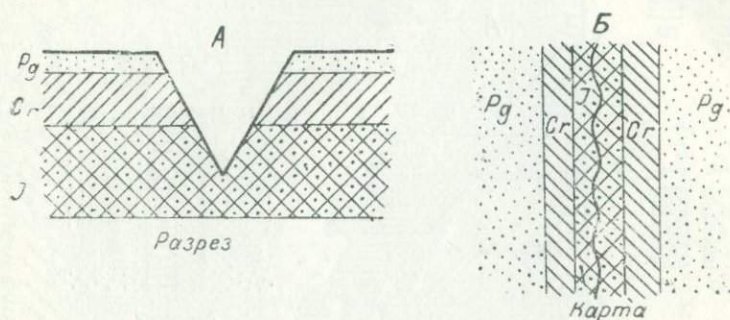


Рис. 182. Геологическая карта крупного масштаба территории вдоль речной долины, прорезающей горизонтально залегающие отложения.

штабе на карте получается ряд полос, симметрично расположенных относительно друг друга, причем наиболее древние отложения будут совпадать с самыми низкими местами рельефа, а более молодые образуют полосы по бокам (рис. 182). При старческом возрасте рельефа горизонтально залегающие отложения сохра-

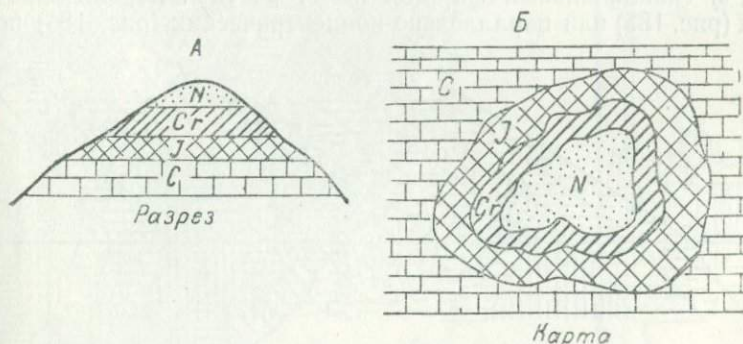


Рис. 183. Геологическая карта и разрез возвышенности — останца, сложенной горизонтально залегающими породами.

няются только на водоразделах в виде холмов-останцев (рис. 102, В). На геологической карте эти холмы будут представлены рядом концентрически расположенных полос с наиболее молодыми отложениями в центре, которые совпадают с самыми высокими точками возвышенности — останца (рис. 183). При горизонтальном залегании, более древние породы могут быть выведены на поверхность также вдоль сброса, как это хорошо видно на рис. 184. Особенно часто древние породы выводятся на

поверхность в результате тектонических нарушений и последующей денудации, которая срезает созданные эндогенными силами складчатые горы и приподнятые плато.

В случае моноклинального залегания пород, геологическая карта носит полосчатый характер. Полосы на ней вытянуты по простиранию и представляют более молодые отложения в направ-

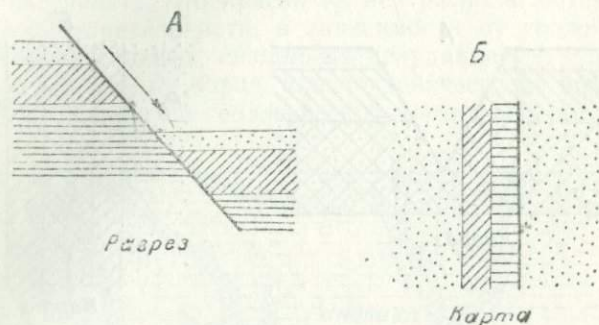


Рис. 184. Разрез вкрест сброса и геологическая карта участка вдоль его при горизонтальном залегании пород.

лении падения слоев. Направление полос не имеет прямой зависимости от эрозионного рельефа и речные долины могут пересекать их в любом направлении.

Геологическая карта в области распространения антиклинальных и синклиналиных складок имеет рисунок параллельно-прямых (рис. 185) или параллельно-концентрических (рис. 186) полос.

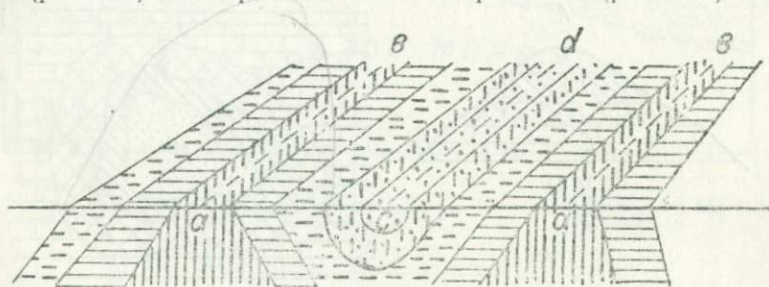


Рис. 185. Блок-диаграмма цилиндрических складок.

Первый случай наблюдается при развитии цилиндрических складок, а второй — при болюобразном приподнятии и погружении осей складок в вертикальной плоскости. На рис. 185 видно, что вдоль оси антиклинальной складки на поверхность выходят самые древние из вскрытых денудацией толщ, а вдоль оси синклиналиной складки — наиболее молодые. Это дает возможность по геологической карте определять форму дислокаций.

При взгляде на геологическую карту Кавказского хребта (рис. 186) видно, что в центральной и наиболее высокой части

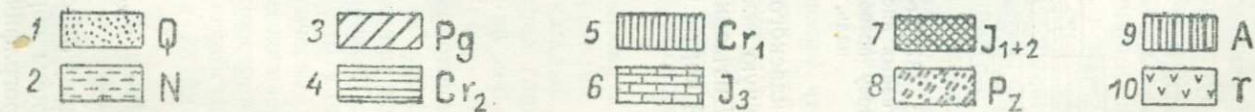
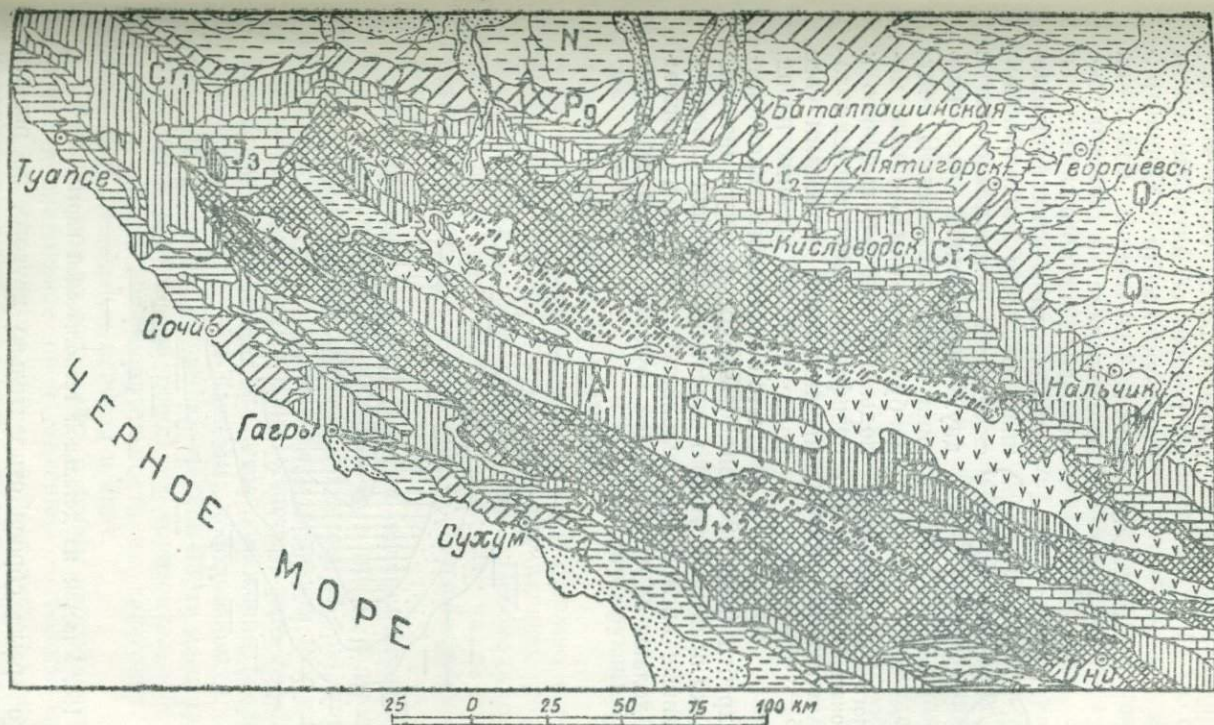


Рис. 186. Схематизированная геологическая карта Кавказского хребта: 1—четвертичные отложения, 2—неоген, 3—палеоген, 4 и 5—верхний и нижний отделы мелозой системы, 6—верхний отдел юрской системы, 7—средний и нижний отделы юрской системы, 8—палеозой, 9—архей, 10—изверженные породы.

его залегают изверженные породы. Они окаймляются концентрическими полосами палеозойских, юрских, меловых и третичных отложений. Последовательная смена от центра к периферии древних пород более молодыми говорит об антиклинальном строении хребта. Концентрическое замыкание полос на северо-западе и юго-востоке указывает на погружение оси антиклинали в этих направлениях. В случае синклинали складки с поднимающейся осью, картина будет обратная. В центре будут выходить самые молодые отложения, сменяясь к периферии концентрически замыкающимися полосами все более и более древних пород.

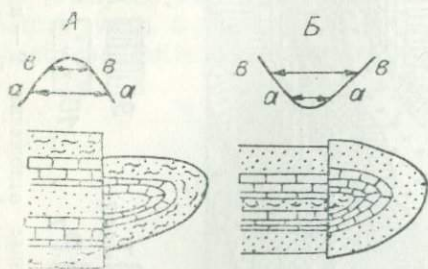


Рис. 187. Геологические карты пликативных дислокаций с опущенной по сбросу правой частью: А — антиклиналь, Б — синклиналь.

На той же геологической карте Кавказского хребта (рис. 186) видно, что реки секут антиклинальную складку преимущественно вкrest простирания слоев.

Дизъюнктивные дислокации осложняют рисунок геологической карты и делают ее чтение более трудным. Вследствие опу-

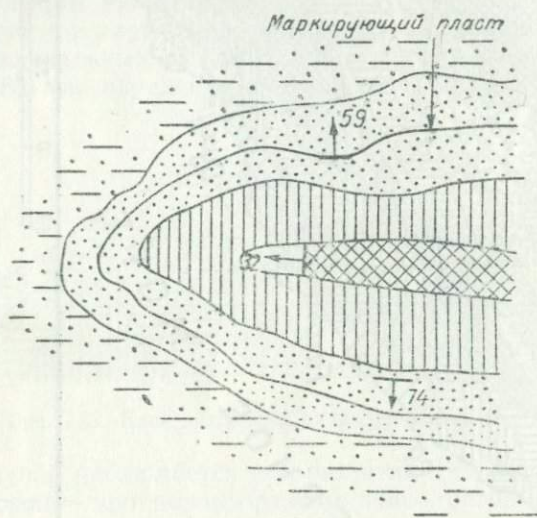


Рис. 188. Участок из детальной геологической карты.

скания одного крыла сброса относительно другого, по разные стороны сброса могут залежать породы различного возраста и петрографического состава (рис. 184 и рис. 187). Тем не менее, при внимательном изучении карты можно определить, которая

часть разбитой сбросом складки опущена относительно другой. Из верхней части рис. 187, А видно, что более высокое горизонтальное сечение антиклинальной складки *bb* уже, чем более низкое сечение *aa*. Так как опущенная часть складки будет срезана денудацией выше, чем оставшаяся на месте, то, следовательно, на геологической карте она будет представлять узкую структуру (рис. 187, А). Это, в свою очередь, приведет к соприкосновению на линии сброса молодых отложений сброшенного крыла с более древними отложениями — не сброшенного. При синклинальном залегании опущенная часть будет шире, но так как в ядре синклинали залегают самые молодые породы, то и в этом случае более молодые породы опущенного крыла придут в соприкосновение с более древними породами несмещенного крыла (рис. 187, Б). Такое же соотношение наблюдается при горизонтальном залегании пород (рис. 184). Это приводит к простому правилу определения смещенного крыла: *при любом залегании горных пород в плоскости сброса соприкасаются породы различного возраста, причем более молодые принадлежат опущенному крылу.*

На детальных геологических картах для облегчения чтения наносят стрелки, указывающие направление падения пластов. Цифра у стрелки дает угол падения в градусах, а линия, проведенная перпендикулярно стрелке, — простирание (рис. 188). Чем круче падение слоев, тем короче делается стрелка. Кроме того, часто показывают линиями выходы маркирующих, т. е. особенно характерных пластов (рис. 188).

Умея читать геологическую карту, можно использовать для инженерных целей те геологические данные, которые на ней представлены в графическом виде. Необходимо каждый раз внимательно присматриваться к рисунку карты и перед глазами встанет геологическое строение всей изображенной на ней территории.

Геологические разрезы. Для облегчения чтения геологических карт и получения более конкретного представления об условиях залегания пород на глубине, к картам обычно прилагают геологические разрезы. Геологическим разрезом или профилем называется вертикальное сечение участка литосферы. Это как бы искусственно созданное сплошное обнажение. Геологические разрезы являются очень важным дополнением к геологической карте. В то время, как геологическая карта дает распространение отдельных комплексов пород на горизонтальной плоскости, на разрезе видна последовательность их залегания на глубине и мощность отдельных пластов и свит.

Разрезы можно составлять в любом направлении, но наиболее ясное и правильное представление о геологическом строении дают разрезы, проведенные вкрест простирания пород. Они показывают настоящие углы падения пластов и называются *нормальными* разрезами. На разрезе, проведенном в любом другом направлении, углы наклона пластов будут меньше угла

падения, а на разрезе, сделанном по простиранию пород, получатся горизонтально залегающие слои.

Геологические разрезы бывают наблюдаемые и построенные. Наблюдаемые разрезы являются результатом непосредственных измерений на большом, более или менее вертикальном обнажении. Такие разрезы имеют значительный интерес, так как они представляют собой первичный материал, отражающий фактически наблюдаемые данные. Однако они имеют очень ограниченные размеры и освещают только незначительный участок местности. Для того, чтобы иметь наглядное представление о геологическом строении на больших расстояниях, прибегают к построенным разрезам. На них участки, не освещенные непосредственными наблюдениями, заполняются на основании косвенных признаков и по предположениям. Таким образом, степень точности построенного профиля зависит от количества фактических данных, с накоплением которых профиль дополняется и уточняется.

Так как правильно представить себе геологическую структуру можно только при учете рельефа поверхности земли, то прежде, чем приступить к составлению геологического разреза, необходимо приготовить топографическую основу для него. Топографический профиль достаточно точно может быть составлен по карте в горизонталях. Профиль, составленный по карте без горизонталей, представляет собой более или менее грубую схему. Превышения водоразделов над речными долинами принимаются здесь условно, исходя из общего характера рельефа местности, для которой составляется профиль. При детальных работах, топографический профиль получают в результате специальной нивелировки вдоль линии, по которой хотят получить геологический разрез.

Наиболее желательно иметь геологические разрезы, в которых горизонтальный и вертикальный масштабы принимаются одинаковыми. Такие разрезы дают картину, которая полностью соответствует действительности. Тем не менее, часто приходится прибегать к увеличению вертикального масштаба по сравнению с горизонтальным. Это бывает необходимо при составлении разрезов в масштабе карт мелкого масштаба. Так, если для разреза с горизонтальным масштабом в 1:5 000 000 принять такой же и вертикальный масштаб, то каждому миллиметру на разрезе будет соответствовать превышение в 5 км. Следовательно, даже самые высокие горы не найдут отражения на таком разрезе, а наиболее мощные отложения нельзя будет изобразить на нем даже в виде тонкой линии. При составлении детальных разрезов также часто пользуются разными вертикальными и горизонтальными масштабами, так как в этом случае часто необходимо отразить в разрезе слои в несколько метров мощности, что требует крупного вертикального масштаба; принятие такого же горизонтального масштаба делает разрез очень громоздким и неудобным для пользования.

Принятие разных горизонтального и вертикального масштабов для одного и того же разреза искажает действительную картину залегания пород. Понятно, что искажение будет тем более сильным, чем больше соотношение между масштабами, которое иногда берется равным 20 и более. Наиболее сильно искажение сказывается при пологом залегании пород. В этом случае углы падения слоев на разрезах значительно превосходят действительные, а мощности получаются сильно преувеличенными. Насколько сильно искажение даже при увеличении вертикального масштаба по отношению к горизонтальному только в 2 раза, хорошо видно

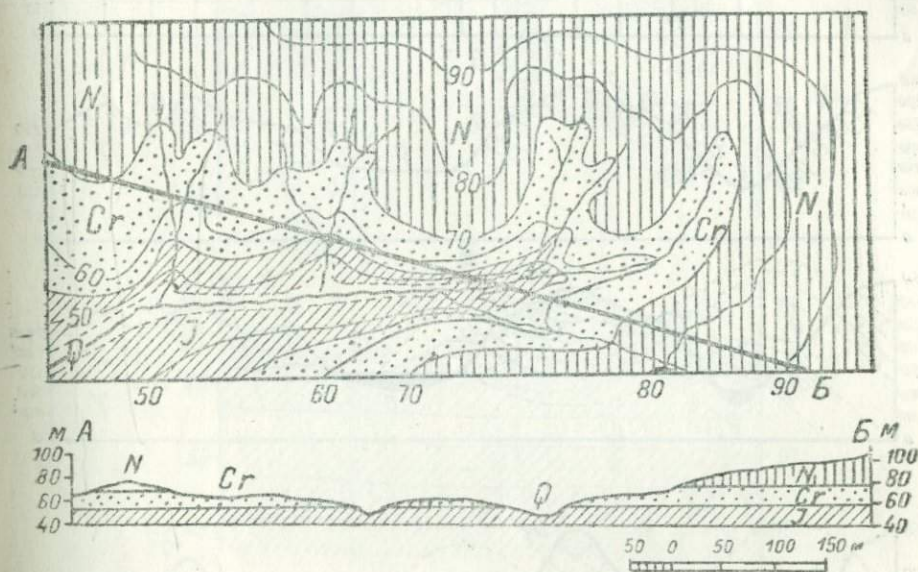


Рис. 189. Составление разреза по геологической карте.

при сравнении рис. 189, В с рис. 190, Г. Это обстоятельство необходимо учитывать при рассмотрении разрезов с искаженными масштабами, так как в противном случае можно впасть в ошибку, приняв местность с пологим залеганием слоев за сильно дислоцированную.

При горизонтальном и вертикальном залегании пород разница масштабов не сказывается на геологическом разрезе. Она только делает более резко выраженным топографический профиль, что даже желательно, так как при этом более отчетливо выступает связь рельефа с геологическим строением местности.

Геологические разрезы могут составляться или по геологической карте, или на основании данных, полученных при осмотре обнажений, или по материалам искусственных обнажений. Во всех случаях по выбранному направлению строят топографический профиль, снабжая его вертикальным линейным масштабом.

в виде рек, расположенных по обе стороны профиля (рис. 190, А). Это облегчает составление и чтение разреза.

При построении разреза по геологической карте, на топографический профиль проектируют с карты точки пересечения линии разреза с границами отдельных толщ (рис. 189). Затем проводят

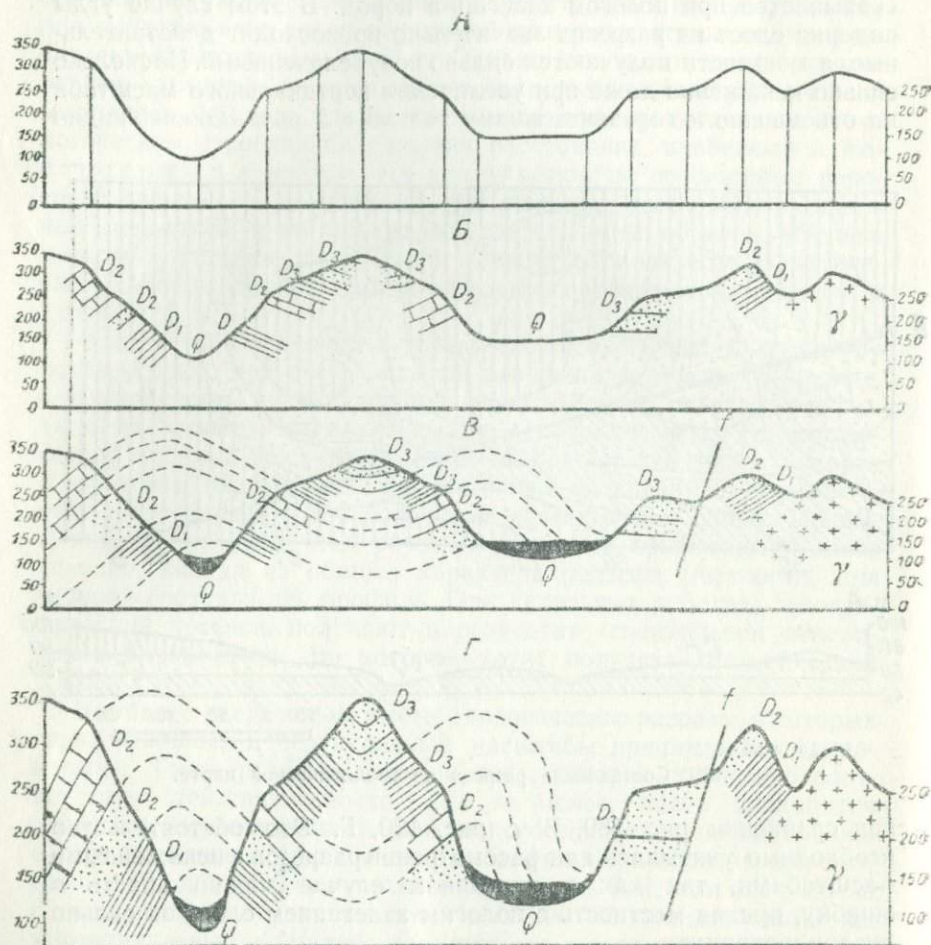


Рис. 190. Последовательные стадии составления геологических разрезов: А — топографический профиль, Б — профиль с нанесенным на него фактическим материалом, В — разрез в законченном виде, Г — тот же разрез с увеличенным вдвое вертикальным масштабом.

границы между толщами на разрезе в соответствии с условиями их залегания. На геологической карте, изображенной на рис. 189, границы отложений следуют горизонталям, что указывает на горизонтальное залегание пород.

Построение профиля по данным естественных обнажений начинают с нанесения слоев в местах, соответствующих положению

обнажений, придавая им наклоны согласно сделанным в поле измерениям падения (рис. 190, Б). После этого соединяют одни и те же слои, причем воздушные складки и границы слоев, проведенные по предположению, вычерчивают пунктирными линиями. Слои закрашивают или штрихуют условными знаками, что придает рельефность разрезу, делая его наглядным и удобным для пользования (рис. 190, В).

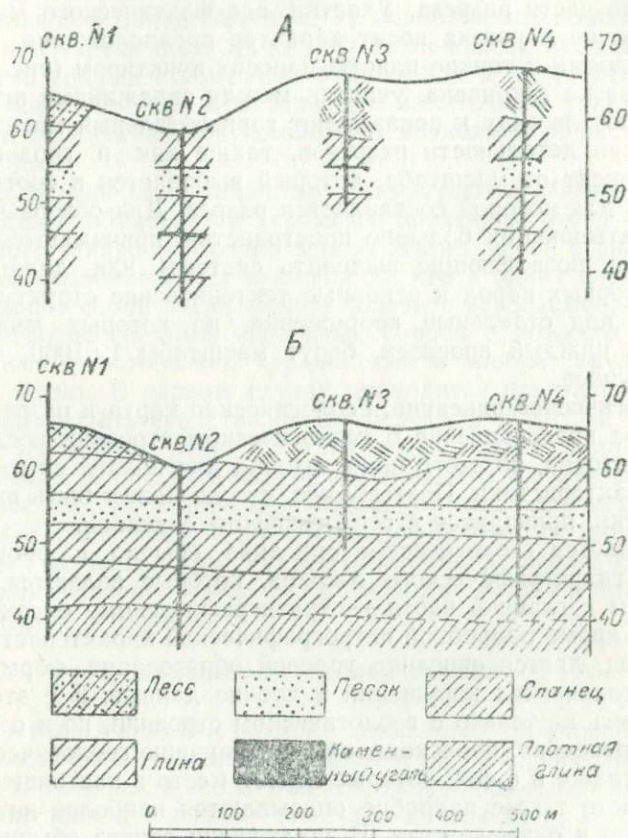


Рис. 191. Составление геологического разреза по искусственным обнажениям.

Особенно часто инженеру приходится иметь дело с разрезами, составленными по искусственным обнажениям: канавам, шурфам, скважинам и т. п. Для построения этих разрезов используют результаты геологической документации специально пройденных разведочных выработок. Как обычно, построению геологического разреза предшествует составление топографического профиля. На разрез наносят выработки, отмечая мощность пройденных пластов, а рядом показывают условными обозначениями петро-

графический состав пород (рис. 191, А). Если разрез вскрывает отложения разного возраста, то на нем, кроме того, различными цветами отмечают возрастную принадлежность отдельных толщ. После этого приступают к увязке разреза, т. е. соединяют линиями в одно целое каждый пласт, вскрытый в отдельных выработках. Увязку начинают с наиболее характерных маркирующих пластов, перепутать которые с другими мало вероятно. Когда вырисовывается соотношение отдельных свит, увязывают отдельные части разреза. Участки, где фактического материала недостаточно и увязка носит характер предположения, границы между слоями и тонкие пласты наносят пунктиром (рис. 191, Б). Когда увязка закончена, участки между скважинами штрихуют, составляют легенду и показывают горизонтальный масштаб.

Степень детальности разрезов, также как и геологических карт, зависит от масштаба, который выбирается в соответствии с целью, для которой составляется разрез. Для обзорных разрезов, охватывающих большие пространства, принимаются мелкие масштабы, позволяющие выделить системы или даже только группы горных пород и основные тектонические структуры. Для разрезов под отдельные сооружения, на которых необходимо показать каждый прослой, берут масштабы 1 : 1000, 1 : 100 и даже крупнее.

Геологическое описание. Геологическая карта и разрезы дают наглядное представление о геологическом строении исследованной территории, но этого недостаточно для полной ее геологической характеристики. Поэтому все, что не может быть выражено графически, приводится в геологическом описании.

Начинается геологическое описание обычно с орографического и гидрографического очерков, которые являются как бы введением к главной части — стратиграфическому очерку. В последнем, кроме подробной петрографической характеристики горных пород, дается описание условий образования, форм залегания, тектонических нарушений и прочие данные. Все это позволяет судить не только о геологическом строении, но и о геологических процессах, происходивших в минувшие геологические времена, а также и о тех, которые имеют место в настоящее время. Очень часто также подробно описываются наиболее интересные обнажения и окаменелости. В заключении отчета обычно приводятся общие сведения о полезных ископаемых, строительных материалах и подземных водах.

Глава XVI

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Задачи гидрогеологических исследований

Когда произведена геологическая съемка, можно ставить вопрос о гидрогеологических исследованиях, т. е. об изучении подземных вод. Задачи гидрогеологических исследований разно-

образны и определяют собой характер производимых работ. Изучение подземных вод необходимо для выяснения: 1) возможности водоснабжения городов и поселков, фабрично-заводских предприятий, железнодорожного транспорта и т. п., 2) условий орошения безводных пространств, 3) возможности осушения заболоченных местностей, 4) мер борьбы с притоком подземных вод в туннели, шахты и другие подземные выработки, 5) мер борьбы с карстовыми провалами и оползнями, 6) возможности ухода воды из водохранилищ в обход плотины, 7) возможности подпитывания каналов или утечки воды из них, 8) возможности заболачивания грунтовыми водами строительных площадок и подтопления подвальных помещений, 9) мер борьбы с избыточным увлажнением грунтов в основании сооружений, 10) возможности растворения бетона и др.

Такое многообразие задач, которые встают в связи с подземными водами, объясняется огромным значением этого жидкого ископаемого в народно-хозяйственной жизни любой страны. Особенностью подземных вод является то, что в одних случаях они представляют собой очень ценное полезное ископаемое, а в других — являются вредным фактором, борьба с которым связана с большими техническими трудностями и требует крупных денежных затрат. В первом случае приходится искать подземные воды и изыскивать средства как их сберечь, а во втором — принимать все возможные меры, чтобы от них избавиться. Для правильного решения любой задачи необходимо знать условия залегания подземных вод, их режим, источники питания, количество и качество, т. е. физические и химические свойства. Все это является объектом изучения при гидрогеологических исследованиях и гидрогеологической съемке, без которых немыслимы инженерно-геологические изыскания.

Гидрогеологическая съемка

Гидрогеологической съемкой называется изучение общих гидрогеологических условий местности. Гидрогеологическая съемка, так же как и геологическая, может производиться в разных масштабах и с разной степенью детальности. Прежде чем приступать к гидрогеологической съемке, необходимо предварительно изучить результаты геологической съемки. С помощью геологического описания, карты и разрезов можно установить, какие породы развиты в районе исследований, и которые из них могут оказаться водоносными.

Исследование водоносных горизонтов, которые залегают ниже местного базиса эрозии, т. е. ниже дна самых глубоких речных долин, требует применения буровых работ и обычно является объектом специальных гидрогеологических изысканий. Все водоносные горизонты, расположенные выше базиса эрозии, так или иначе проявляются на поверхности земли. Особенное значение при поисках этих вод получает геоморфология, т. е. за-

зависимость форм рельефа от геологического строения. Чем пересеченнее местность, тем естественные обнажения зеркала подземных вод чаще, и задача гидрогеолога, ведущего съемку, легче. В равнинных местностях и в областях распространения ледниковых отложений, которые, кроме того, отличаются непостоянством литологического состава, эта задача осложняется.

Если при геологической съемке изучаются все естественные и искусственные обнажения горных пород, то при гидрогеологической съемке обследуются все обнажения подземных вод. Главнейшими естественными обнажениями подземных вод являются источники и заболоченные участки на склонах, а искусственными — колодцы, буровые скважины, каменоломни, открытые разработки полезных ископаемых и карьеры на добыче песка, гравия, суглинка и других строительных материалов.

Источники являются не только наиболее надежными из естественных обнажений подземных вод, но они часто сами служат для целей водоснабжения, орошения и т. п. Это требует особенно тщательного их изучения и точного нанесения на карту. Ни один известный в районе источник не может быть пропущен гидрогеологом. При обследовании источника необходимо установить, к каким породам приурочен водоносный горизонт, за счет которого питается источник, его дебит — количество воды в единицу времени — и качество воды.

При горизонтальном залегании пород источники будут выходить вдоль пересечения склоном речной долины границы водоносного пласта с подстилающим его водоупором (рис. 129, А). Чаще будут встречаться источники по тому склону долины, к которому примыкает более обширная водосборная площадь. Дебит источников на этом склоне будет также больше. Аналогичные условия выхода источников будут, если долина имеет синклинальную складку вдоль ее оси (рис. 129, В). При моноклинальном залегании пород источники будут выходить только вдоль одного склона продольной долины (рис. 192, А), а при антиклинальном — источники из коренных пород в речной долине не образуются (рис. 192, Б). Наличие дизъюнктивных дислокаций (сбросов, сдвигов), сопровождающихся образованием трещин, делает картину выхода источников более сложной и пестрой. Поскольку в изверженных и метаморфических породах подземные воды скапливаются только в трещинах, то поиски в этом случае должны быть направлены вдоль поясов и линий разломов.

Рыхлые четвертичные отложения служат самым близким к поверхности аккумулятором подземных вод. Аллювиальные отложения и песчаные разновидности ледниковых образований почти всегда бывают водоносными. То же можно сказать о дюнных песках, в нижней части которых накапливаются подземные воды.

Поиски подземных вод целесообразнее всего вести вдоль речных долин, так как здесь скорее, чем на водораздельных пространствах, можно встретить выходы вод из коренных пород и обнаружить их в аллювии. При этом все время нужно иметь в

виду, что поверхностные текущие воды, озера и болота, как правило, бывают связаны с подземными водами. В одних случаях поверхностные воды питают подземные, а в других сами питаются за их счет. Так например, во время паводков реки насыщают водой аллювий своих долин, а в межень питаются за счет подземных вод, накопившихся в нем.

В аллювиальных отложениях сухих в настоящее время долин часто течет подземный поток, который может быть надежным источником для водоснабжения даже крупных населенных пунктов.

Особенные трудности представляют поиски подземных вод в областях развития донных морен, которые, покрывая часто толстым слоем коренные отложения, делают их мало доступными для наблюдения. В то же время сами донные морены отличаются

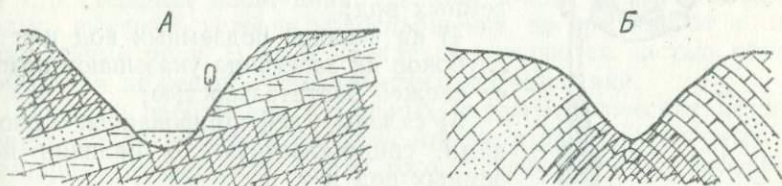


Рис. 192 Условия выхода источников:
А — моноклинальное залегание пород, Б — антиклиналь.

непостоянством литологического состава, представляя, в основном, глинистую породу с отдельными линзами песка. Так как в распределении песчаных скоплений в морене нет никакой закономерности, то обнаружить водоносные пески на обширных слабо всхолмленных пространствах ледникового ландшафта можно только случайно.

Ничтожное количество атмосферных осадков в пустынных областях служит причиной бедности этих районов подземными водами. Инфильтрация поверхностных вод здесь почти отсутствует, что исключает пополнение запасов подземных вод, которое непрерывно происходит в средних и северных широтах. В пустынных районах можно рассчитывать обнаружить подземные воды только в пластах, которые получают питание в более богатых осадками местах и по которым вода постепенно перемещается в область пустынь. Это, конечно, возможно только в том случае, если водоносные слои медленно погружаются в сторону пустыни. Кроме того, в пустынях могут быть встречены реликтовые подземные воды, т. е. такие, которые образовались в прошлые геологические периоды, но сохранились до настоящего времени.

Данные о геологическом строении местности и выходы подземных вод позволяют судить о наличии или отсутствии водоносных пластов в данном районе. Кроме этого, целый ряд косвенных признаков может также указывать на неглубокое залегание подземных вод:

1) заболоченный крутой склон долины свидетельствует о том, что здесь происходит непрерывное просачивание подземных вод сквозь делювий, прикрывающий коренные породы; о том же свидетельствуют полосы или отдельные площади, покрытые свежей влаголюбивой растительностью, в то время, когда кругом трава уже завяла;

2) в равнинных степных областях, в местах, где подземные воды ближе всего находятся к поверхности, после смены жаркого летнего дня холодным вечером появляются небольшие облака тумана; в этих же местах после захода солнца роятся целые тучи мошкары;

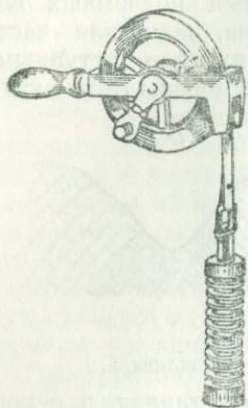


Рис. 193. Свисток.

3) направление полета перелетных птиц через пустынные области может быть принято для поисков выходов подземных вод;

4) на выходы подземных вод или неглубокое их залегание указывают оазисы со свежей растительностью;

5) склоны, деформированные оползнями, свидетельствуют о наличии подземных вод и т. п.

При ведении гидрогеологической съемки в населенных пунктах особенное значение приобретают искусственные обнажения. Обследование колодцев в этих местах становится главнейшим средством получения сведений о подземных водах.

В каждом характерном колодце измеряют глубину водного зеркала от поверхности земли, для чего при глубине до 2,5—3 м пользуются деревянной рейкой. При большей глубине для этой цели служит хлопущка, представляющая собой металлический цилиндр от 5 до 10 см длиной и до 5 см в диаметре. Один конец цилиндра запаян или забит прочной деревянной пробкой. К крючку или кольцу в пробке привязывается шнур. При достижении водной поверхности хлопущка издает характерный глухой звук и по длине шнура определяется глубина. Более совершенным прибором для измерения глубины является свисток. Это — латунный цилиндр высотой 30 см и диаметром 3 см, присоединенный к стальной ленте. На наружной поверхности его через 1 см сделаны чашеобразные кольцевые желобки (рис. 193), а в верхнем конце цилиндра имеется отверстие с впаянным в него свистком. При быстром погружении в воду прибор издает свист, а заполненные водой желобки указывают глубину погружения цилиндра.

Необходимо также путем опроса выяснить, пересыхает ли колодец, или вода сохраняется в нем в течение всего года.

При обследовании колодцев или источников тщательно описывают физические свойства воды: цвет, запах, вкус, прозрачность и температуру. Последняя определяется «ленивым» термометром, медленно реагирующим на изменение температуры окру-

жающей среды, что позволяет достаточно точно определить температуру воды даже при большой глубине колодца.

Данные гидрогеологической съемки представляются в виде отчета, состоящего из записки и обзорной гидрогеологической карты с нанесенными на ней наиболее характерными обнажениями подземных вод. Если позволяет масштаб, на карте может быть выделено распространение основных водоносных горизонтов.

Детальные гидрогеологические исследования

После того, как произведены геологическая и гидрогеологическая съемка значительного района, можно выделить площади, заслуживающие дальнейшего более детального исследования. Детальные гидрогеологические исследования производятся также на строительных площадках, где они имеют своей задачей не только выяснить условия водоснабжения, но преследуют и чисто инженерные цели. В этом случае они являются частью общего комплекса инженерно-геологических исследований.

Полевые работы при детальных гидрогеологических исследованиях подразделяются на разведочные и опытные работы и стационарные наблюдения. Кроме того, производится ряд лабораторных исследований физических и химических свойств воды. Более простые из них выполняются в полевых лабораториях, а более сложные и контрольные определения поручаются стационарным лабораториям соответствующих научно-исследовательских институтов.

Разведочные работы. Разведочные работы имеют задачей выяснить условия залегания подземных вод с точностью, достаточной для правильного проектирования опытных работ. В зависимости от глубины залегания водоносных горизонтов и литологического состава горных пород, разведочные работы на воду производятся шурфованием или бурением. Шурфовочные работы ничем не отличаются от шурфовочных работ, выполняемых при геологических съемках и разведках полезных ископаемых, буровые же — приобретают специфический характер.

Бурение на воду нельзя вести диаметром меньше 75 мм, так как в скважинах меньшего диаметра уровень стояния воды будет заметно отличаться от уровня зеркала подземных вод и, кроме того, трудно получить хорошие образцы грунтов. Если скважину в дальнейшем предполагают использовать для опытных работ или как эксплуатационный трубчатый колодец, то ее диаметр должен быть не меньше 150—200 мм. В противном случае внутрь нее нельзя будет опустить специальный штанговый поршневого насос, применяющийся для откачки воды из глубоких скважин. Установка воздушного насоса — эрлифта при меньших диаметрах также невозможна.

Самым желательным способом бурения на воду является вращательное бурение без промывки скважины водой. Оно позволяет получить хорошие образцы пород и исключает возможность про-

пустить маломощные водоносные горизонты. Поэтому бурение на грунтовые воды, залегающие обычно на небольшой глубине, производят, как правило, ручным ударно-вращательным способом.

Колонковое бурение глубоких скважин без промывки требует частых подъемов бурового инструмента и связано с большими трудностями, что делает его очень медленным и дорогим. Поэтому, учитывая имеющиеся данные о геологическом разрезе, на интервалах, где нет оснований встретить водоносный горизонт, бурят с промывкой, а водоносные горизонты проходят всухую. Кроме того, нужно иметь в виду, что нет серьезной опасности пропустить мощные безнапорные межпластовые и артезианские водоносные горизонты бурением с промывкой. После вскрытия такого горизонта между ним и нагнетаемой в скважину водой немедленно устанавливается гидростатическая зависимость. Вода из скважины перестает вытекать, а уровень ее устанавливается на высоте пьезометрического уровня водоносного горизонта. Если пьезометрический уровень воды выше поверхности земли, скважина фонтанирует.

Бурение с промывкой имеет еще тот плюс, что с помощью его легко устанавливаются горизонты водопоглощающих пород, так как нагнетаемая в скважину вода в них полностью исчезает.

Если нет надобности в точном геологическом разрезе, то бурение на воду целесообразно вести ударным способом. Ударное бурение особенно часто используют для бурения эксплуатационных скважин, когда геологический разрез и водоносные горизонты достаточно точно установлены разведочными работами.

Одним из важнейших требований при бурении на воду является необходимость исследовать каждый водоносный горизонт независимо от прочих. Это же возможно только при изоляции всех вышележащих горизонтов. Поэтому, после того, как водоносный горизонт пройден и опробован, его изолируют, забивая скважину глиной с последующим креплением обсадными трубами или цементируя скважину на уровне водоносного горизонта. Если подстилающий водоносные породы водоупор сложен пластичными глинами, то водоносный горизонт можно также изолировать путем вдавливания в них колонны обсадных труб. После этого закрепленную скважину продолжают бурить меньшим диаметром.

Бурение на воду тщательно документирует специальный сотрудник, который отбирает образцы породы, пробы воды и отмечает все особенности в ходе бурения, которые, так или иначе, могут характеризовать водоносность проходимых пород. Наблюдение за количеством выходящей из скважины воды получает при бурении с промывкой особенное значение. Данные, получаемые при бурении скважины на воду, изображают в виде колонки (рис. 194), нанося в выбранном вертикальном масштабе все пройденные породы и сопровождая их кратким описанием. Все водоносные горизонты отмечают также графически, причем высота пьезометрических уровней изображается вертикальными стрел-

ками (рис. 194). Если было произведено определение дебитов водоносных горизонтов, то для горизонта, который представляет максимальный интерес, эти данные фиксируются на колонке. Кроме того, приводятся физические свойства и результаты хими-

- Пески тонкозернистые
- Глины песчаные слоистые
- Пески-плывуны
- Глины песчаные
- Пески мелкозернистые, в нижней части пловучие
- Глины песчаные с валунами
- Глины голубовато-зеленые плотные
- Песчаники с прослоями глин
- Глины с прослоями песчаников
- Песчаники
- Глины
- Песчаники кварцевые мелкозернистые
- Гранито-гнейсы

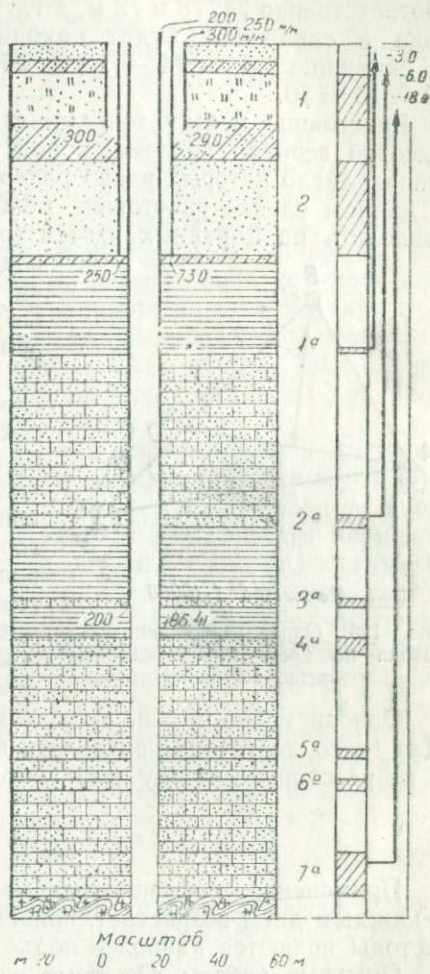


Рис. 194. Колонка буровой скважины на воду.

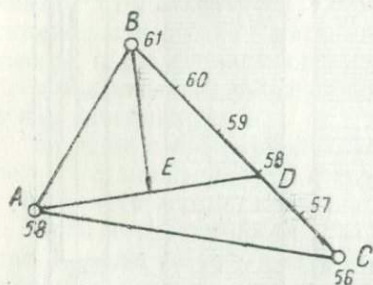
ческих анализов воды. Сверх всего дают технический разрез скважины, т. е. изображают колонны труб и глубины крепления (рис. 194).

Проходкой ряда разведочных шурфов или скважин нужно установить глубину от поверхности, мощность и распространение в горизонтальном направлении водоносных горизонтов.

С помощью трех скважин определяют также направление течения подземного потока. Выбранные для этой цели скважины

должны быть расположены не на одной прямой, а в вершинах треугольника ABC (рис. 195). Устья скважин связываются нивелировкой и в каждой скважине производится измерение глубины до воды. Если высотные отметки скважин A , B и C будут соответственно 74, 78 и 72 м, а глубины до воды 16, 17 и 16 м, то вода в скважинах будет находиться на высотных отметках: в скважине A — $74 - 16 = 58$, B — $78 - 17 = 61$, C — $72 - 16 = 56$.

Расстояние между точками с максимальной и минимальной высотой зеркала подземных вод делят на отрезки одинаковой длины, число которых равно разности уровней воды в этих точках. В данном случае расстояние между скважинами B и C нужно разделить на 5 равных частей (рис. 195). Считая, что зеркало



Масштаб 1:10000

Рис. 195. Определение направления потока по трем выработкам (масштаб 1:10 000).

водоносного горизонта понижается равномерно, получаем точки, высотные отметки зеркала подземных вод в которых будут 57, 58, 59 и 60 м. Если соединить скважину A с точкой, имеющей такую же высотную отметку зеркала вод, то линия AD (рис. 195) даст положение точек с одинаковой высотой, равной 58 м, т. е. горизонталь поверхности зеркала водоносного горизонта. Следовательно, перпендикуляр BE , опущенный из точки B на линию AD , покажет направление течения подземного потока.

Одновременно можно определить уклон поверхности потока. Для этого достаточно разделить превышение точки B над точкой E на расстояние между ними, которое можно взять с плана, т. е.

$$i = \frac{61 - 58}{240} = 0,0125$$

Применение геофизических методов для разведки на воду с каждым днем возрастает, причем электрический и сейсмический методы являются наиболее подходящими для этой цели.

Опытные работы. Опытные работы имеют задачей получить путем непосредственных наблюдений цифровые данные, характеризующие водоносный горизонт. Главнейшими из них являются: скорость движения подземных вод, дебит колодцев и коэффициент фильтрации пород, к которым приурочен водоносный горизонт.

Определение скорости грунтового потока непосредственным измерением производится с помощью индикаторов, которыми являются красящие вещества или растворы солей. После того, как методом трех скважин определено направление подземного потока, по направлению линии BE (рис. 195) задают одну или две дополнительных скважины. Эти

скважины располагают внутри треугольника в расстоянии 5—50 м от скважины В и друг от друга. Для крупнозернистых, хорошо фильтрующих пород расстояния принимаются большие, а для мелкозернистых — меньшие. В верхнюю, по направлению потока, скважину запускают индикатор, который улавливается в нижних по течению скважинах. Время, необходимое для прохождения индикатора от скважины, в которую он погружался, до наблюдательной скважины, деленное на расстояние, даст скорость грунтового потока.

Индикаторы удовлетворяют своему назначению только в том случае, если они обладают хорошей растворимостью в воде, неразлагаемостью и способностью сопротивляться обесцвечиванию во время прохождения от одной скважины до другой, непоглощаемостью породой и легкой узнаваемостью в ничтожных количествах. Кроме того, индикаторы должны быть не ядовитыми для людей и животных и мало заметными на глаз, на вкус и на обоняние для населения, чтобы не вызывать его нареканий. Сверх того, индикаторы не должны быть дороги. Более всего этим условиям удовлетворяет поваренная соль, а из красящих веществ — фуксин, флуоресцин и уранин.

Растворимость поваренной соли в воде при 18° С достигает 39 г в 100 см³ воды. Это позволяет без труда приготовить 10—20-процентный раствор, т. е. растворить 1—3 кг соли в одном ведре воды. Для вливания в скважину нужно брать возможно более концентрированный раствор, так как следует избегать загрузки большого объема жидкости. Это может вызвать значительное повышение уровня воды в опытной скважине, что приведет к искусственному увеличению градиента потока и даст завышенные скорости его течения. Особенно это обстоятельство должно учитывать при малом диаметре скважины и низкой фильтрационной способности пород водоносного горизонта. Так, например, при вливании одного ведра раствора соли в скважину диаметром 75 мм уровень воды в ней может повыситься больше чем на 2,5 м. Для опыта в буровых колодцах берут 2—4 кг поваренной соли; для шахтных колодцев количество соли доводится до 10 кг и более.

Вследствие неполной однородности пород, скорости течения потока не являются идеально одинаковыми во всех порах грунта. Этим объясняется то, что в наблюдательных скважинах сначала появляется вода с минимальным содержанием растворенной соли. Концентрация раствора затем постепенно увеличивается, а достигнув максимума, начинает убывать, пока снова не уменьшится до неуловимых размеров. В трещиноватых породах часто наблюдается два максимума и больше, которые соответствуют протеканию раствора по наиболее доступным для движения воды путям.

Время от момента вливания раствора до появления его в наблюдательной скважине дает наибольшую скорость потока, время до получения максимальной концентрации проб — среднюю ско-

рость, и время до исчезновения следов раствора — минимальную скорость. Для подсчета вымывающих скоростей из-под гидротехнических сооружений из осторожности берут максимальные скорости потока. Пробы из наблюдательных колодцев берутся через равные промежутки времени. Понятно, что чем через меньшие интервалы отбираются пробы, тем точнее результаты наблюдений.

Способ определения скоростей подземного потока с применением красящих веществ, в основном, такой же как и с применением поваренной соли. Возможность определять присутствие красящих веществ при очень малой концентрации раствора делает этот способ менее громоздким и более совершенным по сравнению со способом соляных растворов. Концентрация красящего вещества в пробах воды определяется по степени их окраски. Для этого пользуются специальным прибором, называемым флюороскопом, который представляет ряд трубок из белого стекла, длина которых может быть от 25 до 100 см. С нижнего конца трубки закрыты пробками, верхняя поверхность которых покрыта тушью. Каждая трубка наполняется стандартным раствором красящего вещества, а все трубки располагаются в ящике в порядке изменения концентрации раствора. Вынутая из колодца проба воды наливается в трубку одинаковой длины с трубками флюороскопа. Передвигая ее вдоль трубок флюороскопа, определяют степени концентрации. Пробы воды для трещиноватых, закарстованных и грубообломочных пород берутся через 5—30 минут, а для мелкозернистых и глинистых грунтов — от 30 минут до нескольких часов и даже дней. Способ запуска красок является самым употребительным, что объясняется удобством применения его в полевых условиях, несложностью оборудования и сохранением режима потока во время опыта.

Более совершенным методом определения скорости потока является электрометрический способ Сликтера. Он состоит в том, что по направлению потока, на расстоянии 1—3 м друг от друга, бурят две скважины. В верхнюю вводят раствор электролита, например нашатыря (NH_4Cl), а затем при помощи особого прибора с амперметром следят за изменением сопротивления воды электрическому току. В момент, когда электролит из верхней скважины достигнет нижней, сопротивление воды электрическому току заметно уменьшается и амперметр показывает резкое усиление электрического тока.

Результаты наблюдений при опытных работах могут быть представлены в виде графика, что дает наглядную картину прохождения опыта. Графическим методом пользуются также для определения максимумов при опытах с соляными растворами и с красящими веществами.

Определение дебита колодца производится опытными откачками воды из него. Если начать откачивать из колодца воду насосом определенной производительности, то уровень воды

будет понижаться до тех пор, пока количество забираемой из колодца воды станет равным притекаемому из водоносного пласта. Чем большей производительности будет насос, тем большее потребуются понижение уровня воды в колодце, чтобы установилось равновесие. Таким образом, очевидно, что дебит, т. е. производительность колодца, находится в тесной связи с понижением уровня воды в колодце. Однако, для колодца, получающего воду из ненапорного водоносного горизонта, эта зависимость не является прямо пропорциональной. С увеличением понижения, прирост дебита воды в колодце все убывает и наконец становится совсем незначительным.

При понижении уровня воды в колодце зеркало водоносного горизонта рядом с колодцем также понижается, образуя вокруг колодца депрессионную воронку (рис. 196). Форма

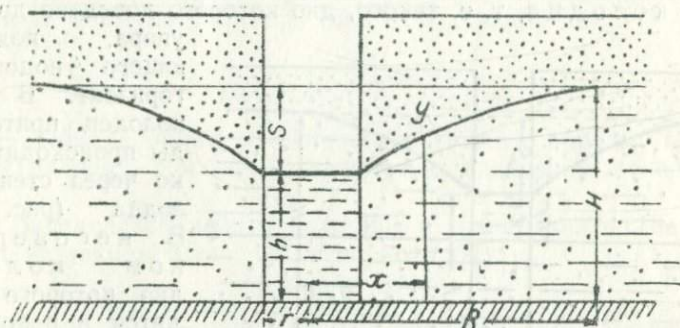


Рис. 196. Депрессионная воронка.

депрессионной воронки зависит от водопроницаемости водоносных пород. Чем выше фильтрующая способность пород, т. е. чем больше коэффициент фильтрации, тем положе депрессионная воронка. Следовательно, при одном и том же понижении уровня воды в колодце, радиус депрессионной воронки в хорошо фильтрующих породах будет больше, чем в породах с низкими фильтрационными способностями. Таким образом, устанавливается, что между дебитом колодца, глубиной понижения, коэффициентом фильтрации и радиусом депрессионной воронки существует тесная зависимость. Для колодцев, забирающих воду из водоносных горизонтов, движение потока в которых подчиняется закону Дарси, эта зависимость выражается уравнением Дюпюи:

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\ln R - \ln r} \quad (17)$$

где Q — дебит колодца, k — коэффициент фильтрации, H — мощность водоносного горизонта, h — мощность слоя воды в колодце при понижении, R — радиус депрессионной воронки и r — радиус колодца (рис. 196).

После введения множителя 2,3, необходимого для перевода натуральных логарифмов в знаменателе формулы (17), и замены π его значением, уравнение Дюпюи принимает следующий, более удобный для практических целей вид:

$$Q = 1,37 k \frac{H^2 - h^2}{\lg R - \lg r} = 1,37 k \frac{(H+h)(H-h)}{\lg \frac{R}{r}} \quad (18)$$

Так как $h = H - S$ (рис. 194), где S — глубина понижения уровня воды в колодце, то после замены h через S формула Дюпюи будет иметь следующий вид:

$$Q = 1,37 k \frac{(2H - S) S}{\lg \frac{R}{r}} \quad (19)$$

Уравнение Дюпюи предусматривает случай совершенного колодца, т. е. такого, дно которого доведено до водоупора,

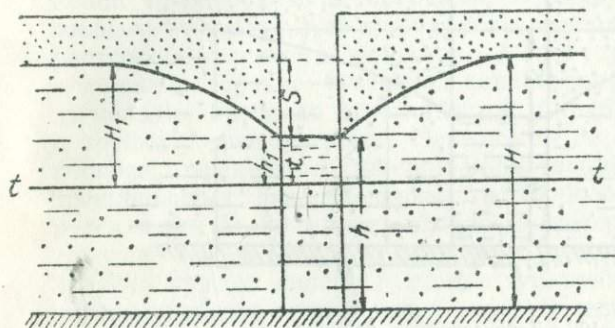


Рис. 197. несовершенный колодец.

подстилающего водоносный горизонт. В такой колодец приток воды происходит только через стенки колодца (рис. 194). В несовершенном колодце, дно которого находится в водоносном слое, вода поступает не только через стенки, но и через дно (рис. 197). При подсчете дебита такого

колодца в формулу (19) вводится специальная поправка.

Для артезианских водоносных горизонтов существует прямая пропорциональная зависимость между дебитом колодца и понижением напора, т. е. если были определены дебиты q_1 и q_2 при двух соответствующих понижениях s_1 и s_2 , то:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{s_1}{s_2} \quad (20)$$

Таким образом, зная дебит артезианского колодца при одном понижении, можно определить его из формулы (20) для любого другого понижения. Дебит артезианского колодца при понижении напора, т. е. пьезометрического уровня, на 1 м называется удельным дебитом. Понятие «удельный дебит» применимо только к артезианским колодцам, а не к грунтовым, так как в последних нет пропорциональной зависимости между дебитом и понижением. Следовательно, давая дебит грунтового колодца, всегда необходимо указывать, при каком понижении уровня воды он получен.

В грубозернистых и грубообломочных породах, где поры достигают больших размеров, частично наблюдается ламинарное движение воды, которое подчиняется закону Дарси (9), частично же движение имеет турбулентный характер и следует закону Шези (8). В первом случае скорость потока пропорциональна напорному градиенту в первой степени, а во втором — в степени $1/2$. Для определения дебита колодцев из таких пород служит формула Смрекера, согласно которой скорость потока занимает промежуточное положение между законом Дарси и законом Шези. Она пропорциональна не 1 не $1/2$, а $1/m$, где m изменяется от 1 до 2 в зависимости от свойств пород водоносного горизонта. Если в породе преобладают мелкие частицы и превалирует ламинарное движение, то m приближается к 1, если же порода сложена очень грубообломочным материалом, в котором наблюдается главным образом турбулентное движение, то m близко к 2. Формула Смрекера имеет следующий вид:

$$Q = F \left(\frac{i}{c} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (21)$$

где Q — дебит колодца, F — площадь сечения породы, i — напорный градиент, c и m — коэффициенты, зависящие от свойств породы.

Для определения дебита колодца в трещиноватых породах исходят из закона Шези, согласно которому

$$v = c \sqrt{Ri}$$

где v — скорость, c — определяемый опытным путем коэффициент, i — гидравлический градиент и R — гидравлический радиус, т. е. отношение сечения потока F к смоченному периметру P . В результате дебит колодца выражается формулой:

$$Q = vF = cF \sqrt{\frac{F}{P}} i \quad (22)$$

Опытные откачки воды дают возможность не только определить дебит колодца при заданном понижении, но с помощью формул (18)—(22) позволяют вычислить дебит при любом другом понижении и определить константы, характеризующие водопроницаемость пород. Для мелкозернистых пород это будет коэффициент фильтрации k [(18) и (19)], для грубообломочных — константы c и m (21) и для трещиноватых пород — эмпирический коэффициент c (22).

Знание водопроводящей способности пород необходимо при возведении самых разнообразных инженерных сооружений. Особое значение фильтрующие способности пород получают при вычислении размеров фильтрации под плотинами, определении утечки воды из каналов и водохранилищ и т. п. Пользуясь ими, можно также определить приток воды в колодцы, шахты, туннели, в котлованы для закладки фундаментов и в карьеры по разработке строительных материалов.

К опытным откачкам приступают только тогда, когда достаточно хорошо выяснены условия залегания подземных вод, их характер и направление потока. Имея эти данные, выбирают наиболее характерное место, на котором и разбивают опытный участок. В середине участка проходят центральную скважину или шурф, из которого должна производиться откачка. Диаметр скважины должно выбирать таким, чтобы можно было из нее производить откачку и измерять уровни воды. Так как работа насоса часто мешает производить измерение уровня воды с достаточной точностью, то рядом проходят скважину малого диаметра, в кото-

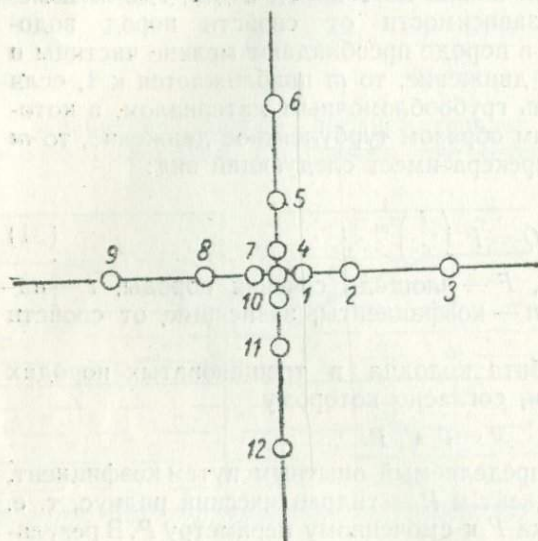


Рис. 198. Расположение скважин при опытных откачках.

рой и ведут наблюдения. Центральная скважина, как правило, должна быть доведена до водоупора, для того, чтобы она представляла собой совершенный колодец. Скважина крепится обсадными трубами, которые на протяжении водоносного слоя просверливаются отверстиями 10—15 мм в диаметре. Отверстия располагаются в шахматном порядке. При мелкозернистом грунте, для избежания выноса его в скважину, перфори-

рованная часть трубы обматывается латунной сеткой. Если же водоносный пласт представляет собой очень тонкозернистый плавун, то необходимо прибегать к гравийному фильтру. В этом случае в скважину опускается перфорированная труба желательного диаметра. После этого обсадные трубы извлекаются из скважины, причем, по мере поднятия их, пространство между стенками скважины и трубой-фильтром заполняется гравием. Аналогичным образом оборудуются и эксплуатационные на воду скважины.

На опытном участке, кроме центральной скважины большого диаметра, проходят ряд контрольных скважин малого диаметра, которые также желательно пробурить до водоупора, подстилающего опробуемый водоносный пласт. Оборудование фильтрами их обязательно только в том случае, когда водоносные породы представляют плавуну. Контрольные скважины располагают по четырем лучам, из которых два ориентированы по направлению потока, а два перпендикулярно к нему (рис. 198). По каждому лучу желательно иметь 3—4 контрольных скважины, расстояние

между которыми увеличивается при удалении от центральной. Так, например, контрольные скважины могут задаваться в таких расстояниях от центральной: 2, 6, 14, 30 м, или 5, 15, 50, 100 м (рис. 198). Так как контрольные скважины служат для замеров зеркала подземных вод, что необходимо для определения размеров и формы депрессионной воронки, то для хорошо фильтрующих пород их необходимо задавать на больших расстояниях, а для глинистых с малым диаметром депрессионной воронки — на меньших.

Все контрольные скважины нумеруются (рис. 198) и связываются с центральной скважиной нивелировкой. После этого по направлению лучей составляются геологические разрезы с нанесением зеркала подземных вод до начала откачек (рис. 199).

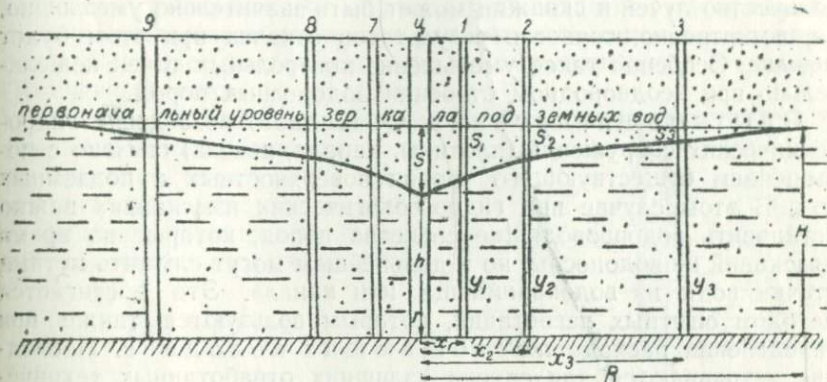


Рис. 199. Разрез по линии контрольных скважин.

Чем длительнее откачки, тем надежнее полученные результаты. Если наблюдения в контрольных скважинах в течение не менее 6 часов показывают один и тот же уровень, то это говорит за то, что установился постоянный режим, и срок для откачки можно считать достаточным. Откачки следует производить не при одном, а при нескольких понижениях уровня.

Дебит колодца при каждом понижении определяется по числу движений поршня насоса в единицу времени или по непосредственному периодическому замеру воды в отводе. Отвод воды необходимо организовать правильно, так как при близком стоянии от поверхности зеркала грунтовых вод и длительной откачке может происходить обратная инфильтрация.

Установившиеся уровни в контрольных скважинах наносятся на геологические разрезы лучей, в результате чего получают вертикальные сечения депрессионной воронки (рис. 199). Соединяя на плане точки поверхности депрессионной воронки с равными отметками, можно получить ее рельеф и очертание. Только при горизонтальном зеркале грунтовых вод (подземное озеро) и при однородном строении водоносных пород, депрессионная

воронка будет иметь круглую форму. В условиях же грунтового потока и неоднородного состава пород в разных направлениях, воронка принимает неправильные очертания. Из вертикальных разрезов по лучам можно получить средний радиус депрессионной воронки, подставив значение которого в уравнение Дюпюи (19) и решив его относительно k , получим коэффициент фильтрации водоносных пород в месте производства опытных откачек:

$$k = 0,73 Q \frac{\text{ig} \frac{R}{r}}{(2H - s) s} \quad (23)$$

где обозначения те же, что и в уравнении (19).

В случае трудных условий проходки контрольных скважин, количество лучей и скважин может быть значительно уменьшено, но, естественно, точность результатов откачек при этом будет меньше. Особенно такое уменьшение контрольных точек нежелательно при неоднородном строении водоносных пород.

Опытные нагнетания. Очень часто возведение гидротехнических сооружений (плотины, канала, шлюза) связано с повышением существующего уровня поверхностных и подземных вод. В этом случае при гидрогеологических изысканиях важно установить водопроявляющие свойства пород, которые во время изысканий не водоносны, но в дальнейшем могут служить путями утечки воды из водохранилища или канала. Это достигается методом опытных нагнетаний, которым пользуются также при определении расхода поглощающих колодцев. Последние устраиваются для спуска излишних обработанных технических вод и при осушении болот, когда поглощающие колодцы, при благоприятных гидрогеологических условиях, с успехом могут заменить дорогостоящий горизонтальный дренаж.

При производстве опытов по нагнетанию, так же как и при откачках, проходят центральную скважину или шурф и ряд контрольных выработок. До начала опыта все выработки нивелируются, а уровни воды в них тщательно замеряются. С помощью специального оборудования в центральную скважину непрерывно нагнетают определенное количество воды q л/сек, причем все породы, залегающие выше и ниже опробуемого пласта, должны быть тщательно изолированы. При нагнетаниях образуется воронка поглощения, которая имеет такую же форму, как обращенная вершиной вверх депрессионная воронка при опытных откачках (рис. 200). Нагнетание производится до тех пор, пока установится постоянная поверхность воронки поглощения, т. е. прекратится поднятие уровня воды в контрольных скважинах. Чем меньше водопоглощающая способность пород, тем круче поглощающая воронка и меньше ее радиус R , величина которого определяется наблюдениями в контрольных скважинах.

Коэффициент фильтрации k вычисляется подстановкой полученных при опыте данных в формулу (23).

Определение водопоглощения по способу А. К. Болдырева. В степных и полупустынных областях водоносные горизонты залегают обычно на большой глубине. В этих условиях предварительное определение водопоглощающей способности грунтов производится по методу А. К. Болдырева. Опыт состоит в том, что в шурф круглого сечения наливают воду до определенного уровня, а затем все время подливают, поддерживая уровень на постоянной высоте — около 10 см над дном шурфа. Для избежания инфильтрации в стенки шурфа и уточнения опыта, стенки шурфа следует закреплять бетонными или, лучше, железными кольцами. Это, в свою очередь, предохраняет от обвала стенок и заилиения дна. Так как вода, инфильтруясь из шурфа в грунт, находится в начале опыта в неустоявшемся движении, то сначала наблюдается максимальная поглощающая способность, которая потом постепенно становится более или менее постоянной, а уклон i приближается к единице. Отмеченный после этого расход подливаемой воды и продолжительность опыта, которая должна быть не менее 4—6 часов, используются для определения коэффициента фильтрации. Последний подсчитывается по формуле:

$$k = \frac{q}{iF} \text{ см, сек} \quad (24)$$

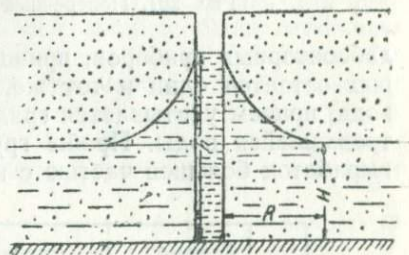


Рис. 200. Воронка поглощения.

где k — коэффициент фильтрации, q — расход за время t , F — площадь дна шурфа.

Пользуясь опытами с наливными шурфами, можно определить потерю на фильтрацию из каналов, как в момент их заполнения, так и в дальнейшем. Нужно, однако, учитывать, что опыты по методу Болдырева дают завышенные значения потерь, поэтому, чтобы получить более надежные данные, часто прибегают к наполнению водой опытных участков на трассе канала.

Определение расхода подземного потока. Зная направление, напорный градиент i и коэффициент фильтрации k , можно определить расход подземного потока, который выразится формулой:

$$Q = kiF$$

где F — площадь поперечного сечения потока. Она может быть определена графически из гидрогеологического разреза, составленного по разведочным выработкам, пройденным по линии, перпендикулярной направлению подземного потока (рис. 201). Если водоносные грунты неоднородны по своим фильтрующим свойствам, подсчет расхода подземного потока придется производить отдельно для каждого характерного участка поперечного

сечения. Это усложняет задачу, так как на каждом участке требуется постановка опытных откачек для определения коэффициента фильтрации.

Лабораторные методы определения коэффициента фильтрации. Кроме опытных откачек, имеются менее надежные, но несравненно более дешевые лабораторные методы определения коэффициента фильтрации. Для этого существует ряд конструктивно разных

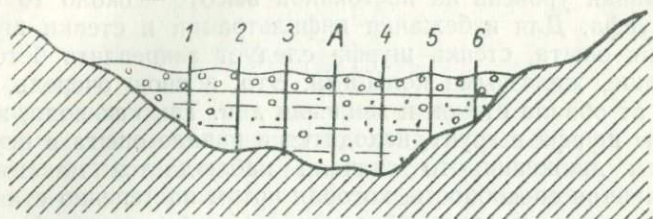


Рис. 201. Поперечный разрез подземного потока.

лабораторных приборов, принцип определения посредством которых остается один и тот же. Через пробу грунта пропускается вода, причем учитывается градиент, время и количество профильтровавшейся воды. Пробы грунта отбираются из разведочных выработок большей частью с нарушенной структурой, что делает

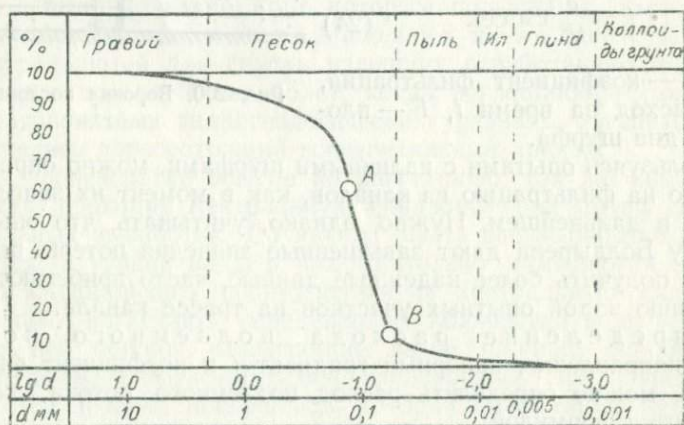


Рис. 202. Кривая однородности.

условия фильтрации в лабораторных условиях сильно различаются от естественных условий, а результаты опытов — сугубо ориентировочными.

Косвенным способом определения коэффициента фильтрации рыхлых пород является метод подсчета, основанный на гранулометрическом составе пород. Под гранулометрическим составом понимается процентное содержание в грунте зерен

различного размера. Содержание более крупных фракций определяется просеиванием пород через сита с отверстиями диаметром: 0,1; 0,5; 1; 2; 5 и 10 мм, а количество более мелких и тонких частиц — путем отмучивания в воде. Этот процесс подразделения породы на отдельные фракции по крупности называется механическим анализом.

Результаты механического анализа грунта (т. е. его гранулометрический состав) представляются в виде таблицы, в которой приводится, как процентное содержание отдельных фракций, так и суммарное процентное содержание частиц, меньших определенного диаметра (табл. 10). Это дает возможность построить кривую однородности, ордината любой точки которой дает процентное содержание частиц, меньших соответствующего диаметра (рис. 202). При построении кривой однородности, по оси абсцисс откладываются обычно не диаметры частиц, а их логарифмы. Благодаря этому достигается наглядность графика механического анализа (табл. 10 и рис. 202). Если бы, для приведенного в табл. 10 примера, по оси абсцисс были отложены диаметры частиц, то почти все данные анализа пришлось бы поместить на $1/10$ графика, так как при максимальной величине диаметра частиц в 10 мм почти все данные относятся к частицам меньшим 1 мм. Это потребовало бы или большого размера чертежа, или привело бы к неприемлемой густоте точек в правой стороне графика.

Таблица 10

Гранулометрический состав песка (пример)

Диаметр частиц в мм	Процентное содержание отдельных фракций	Диаметр частиц в мм меньше	Логарифм диаметра	Процентное содержание по совокупн. фракций
От 10 до 2	3	10	1,000	100
" 2 " 1	2	2	0,301	97
" 1 " 0,5	5	1	0,000	95
" 0,5 " 0,25	6	0,5	-0,301	90
" 0,25 " 0,05	77	0,25	-0,602	84
" 0,05 " 0,01	5	0,05	-1,301	7
" 0,01 " 0,005	1	0,01	-2,000	2
< 0,005	1	0,005	-2,301	1

Кривая однородности позволяет определить эффективный или действующий диаметр грунта, под которым понимается такой предельный диаметр, меньше которого в породе содержится 10% частиц. Из рис. 202 видно, что он будет соответствовать абсциссе точки В, логарифм которой равен -1,25. Этому логарифму соответствует число 0,075 мм, которое и является эффективным диаметром, входящим в формулу Хазена (25) подсчета коэффициента фильтрации. При этом принимается, что проницаемость данной породы одинакова с водопр-

нищаемостью грунта, сложенного частицами, равными действующему диаметру. Однако, такое допущение возможно только при достаточно однородном гранулометрическом составе грунта, что характеризуется коэффициентом неоднородности грунта, выражающим отношение диаметра, меньше которого в породе содержится 60% частиц, к действующему диаметру, т. е. он равен:

$$j = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (24a)$$

Значение коэффициента неоднородности можно получить пользуясь кривой однородности. Из рис. 202 видно, что $\lg d_{60}$ равен абсциссе точки А, т. е. — 0,9 откуда $d_{60} = 0,125$. Следовательно, коэффициент неоднородности рассматриваемого грунта будет:

$$j = \frac{0,125}{0,075} = 1,7$$

Чем более разнородный грунт, тем больше коэффициент неоднородности и выше кривая однородности. В случае если коэффициент неоднородности больше 5, пользоваться действующим диаметром для подсчета коэффициента фильтрации нельзя.

Одной из формул, которые используют действующий диаметр для подсчета коэффициента фильтрации, является формула Хазена. При температуре воды 10° С, она имеет вид:

$$k = cd^2 \text{ м/сут.} \quad (25)$$

где c — коэффициент, принимаемый для чистых песков от 700 до 1000, а для глинистых от 500 до 700. Коэффициент c принимается субъективно и вносит некоторую произвольность в определении коэффициента фильтрации. Для рассмотренного примера, коэффициент фильтрации по Хазену будет:

$$k = 1000 (0,075)^2 = 5,6 \text{ м/сут.}$$

Формула Хазена применима только для песков с эффективным диаметром от 0,1 до 3 мм.

Для предварительных и очень приближенных подсчетов коэффициента фильтрации достаточно крупнозернистого и однородного грунта можно пользоваться упрощенной формулой Люгера:

$$k = d \text{ м/сек.} \quad (26)$$

где k — коэффициент фильтрации, а d — средняя величина диаметра господствующей фракции породы. Так, для рассмотренного случая (табл. 10) господствующей фракцией является фракция от 0,25 до 0,05 мм, средний диаметр 0,15 мм. Следовательно, по уравнению (26) коэффициент фильтрации будет:

$$k = 0,15 \cdot 0,001 \text{ м/сек.} = 15 \cdot 10^{-5} \text{ м/сек или } 13 \text{ м/сут.}$$

Существует ряд других формул для определения коэффициента фильтрации, но подсчеты по разным формулам обнаруживают

часто большие расхождения. Сравнительно хорошее совпадение подсчета по Хазену (5,6 м/сут.) и по Люгеру (13 м/сут.), в приведенном примере объясняется однородностью песка.

Определение качества воды. Качественная характеристика подземных вод является одним из важнейших элементов гидрогеологических изысканий. Качество воды имеет большое значение при оценке пригодности ее для водоснабжения населенных пунктов и возможности применения в различных областях промышленного производства. Не менее важно оно и при всякого рода строительных работах, особенно при возведении гидротехнических сооружений, где влияние воды на строительные материалы приобретает исключительное значение. Кроме того, физико-химические свойства воды могут указать на ее происхождение, глубину залегания, пути движения и на целый ряд других факторов, имеющих существенное значение при оценке инженерно-геологических условий.

Исследование физических и химических свойств воды производится как в полевых условиях, так и в специальных стационарных лабораториях. В первом случае изучение воды ограничивается простейшими определениями ее главнейших физических свойств и качественной характеристикой растворенных в ней веществ. Наличие полевой лаборатории делает возможным также массовое качественное определение наиболее характерных компонентов. В стационарных лабораториях выполняются точные количественные определения всех (полный анализ) или части (сокращенный анализ) присутствующих в воде веществ. При исследовании пригодности воды для водоснабжения производится дополнительно бактериологический анализ воды.

Пробы воды для анализов берутся с соблюдением мер предосторожности, обеспечивающих от примеси посторонних веществ. Пробы берутся в стеклянные тщательно вымытые бутылки с притертыми пробками. В случае если приходится пользоваться корковыми пробками, то их предварительно необходимо прокипятить в дистиллированной воде. Перед взятием пробы бутылку несколько раз споласкивается той водой, проба которой отбирается. При длительных перевозках пробки заливаются сургучем. Для полного химического анализа требуется не менее 2 л воды.

Физические свойства. К физическим свойствам подземных вод, которые определяются при гидрогеологических изысканиях для инженерно-геологических целей, относятся: температура, прозрачность, цвет, запах и вкус. При исследованиях специального назначения определяются также электропроводность и радиоактивность.

Температура воды измеряется точными термометрами с делением через 0,5 или 0,2°. Применяются термометры разнообразных конструкций, причем для измерения температуры воды в глубоких скважинах или колодцах пользуются ленивыми термометрами с увеличенным шариком или с шариком окруженным гложо проводящим тепло материалом. Одновременно с опреде-

лением температуры воды измеряется также температура воздуха с помощью термометра-праща.

Прозрачность подземных вод зависит от количества взвешенных минеральных и органических веществ, присутствие которых обуславливает противоположное прозрачности свойство воды — мутность. Тонкая муть придает воде опаловый оттенок.

По степени прозрачности различают: прозрачную, слабо опалесцирующую, опалесцирующую, слегка мутную, мутную и очень мутную воду. Определять прозрачность воды следует немедленно после взятия пробы или спустя небольшой промежуток времени. Для качественного определения прозрачности пользуются специальными цилиндрами из бесцветного стекла высотой в 30 см. Количественное определение мутности производится различными способами, одним из которых является сравнение воды с особыми эталонами. За единицу мутности принимается мутность воды, в 1 л которой содержится во взвешенном состоянии 1 мг тонко измельченного кремнезема.

Цвет подземных вод обуславливается химическим составом и наличием загрязняющих примесей. Чистая вода бесцветна, а в большой массе имеет небесно-голубой цвет.

Перед определением цвета мутная вода предварительно отфильтровывается. Качественное определение цвета производится рассматриванием сверху столба воды в цилиндрах из прозрачного белого стекла с плоским дном, покрытым белой бумагой или белой фарфоровой пластинкой, высота цилиндров должна быть 30—40 см, а диаметр 2—2,5 см. Для количественного определения пользуются сравнением цвета исследуемой воды с цветом стандартных растворов. Интенсивность окраски измеряется или в особых градусах или по специальной шкале.

Запах в чистой воде отсутствует. Иногда он вызывается присутствием сероводорода, придающего воде особый тухлый запах. Грунтовые воды, питающиеся за счет инфильтрации болотных вод, обладают особым «болотным» запахом, обусловленным большим содержанием гуминовых веществ. Часто запах воды получается в результате случайных причин: гниение сруба в колодце, загрязнение воды поступающими сверху органическими веществами и т. п.

Запах следует определять при естественной температуре на месте взятия пробы воды, а также при 40—50° С, так как при этой температуре запах становится гораздо отчетливее.

Вкус воды обуславливается присутствием растворенных в ней посторонних примесей; чистая вода не имеет определенного вкуса. Различные соединения вызывают разные вкусовые ощущения, улавливаемость которых зависит от степени концентрации раствора и от чувствительности вкусовых нервов человека. Сладковатым вкусом обладают воды с большим содержанием органических веществ. Горький вкус воде придает присутствие

в растворе сернокислого магния и сернокислого натрия. Наличие хлористого натрия обуславливает соленый вкус.

Определение вкуса подземной воды производится как при отборе пробы, так и при температуре 25—35° С. В последнем случае вкус воды ощущается более ясно.

Электропроводность воды зависит от общего содержания солей, что позволяет с помощью специальных приборов быстро и легко получить данные общей минерализации подземных вод и изменение ее во времени.

Радиоактивность подземных вод обуславливается наличием газообразной эманации и незначительным количеством радиоактивных солей. Она присуща в той или иной степени почти всем подземным водам, причем воды с высокой радиоактивностью действуют разрушающим образом на металлы и имеют лечебное значение.

Определение радиоактивности подземных вод следует производить немедленно после взятия пробы, которая не должна встряхиваться и смешиваться с воздухом. Для определения радиоактивности существуют различные приборы, причем определение основано на способности эманации ионизировать воздух, вследствие чего заряженный электрод теряет свой заряд быстрее, чем обычно. Степень радиоактивности воды выражается в единицах Махе или в эманах. По степени радиоактивности различают: сильно-радиоактивные воды — более 300 эманов, средне-радиоактивные — 300—100, слабо-радиоактивные — 100—35, очень слабо-радиоактивные — менее 35 эманов.

Бактериологический анализ. Подземные воды, залегающие близко к поверхности, всегда содержат в себе микроорганизмы, которые проникают вглубь вместе с инфильтрующейся с поверхности водой. С глубиной количество безвредных и болезнетворных бактерий обычно уменьшается. Блезнетворные бактерии развиваются в результате загрязнения подземных вод органическими отбросами и фекальными жидкостями, содержащими продукты испражнений.

Бактериологический анализ производится при определении пригодности воды для водоснабжения. Он основан на количественном определении микроорганизмов в 1 см³. Существует несколько методов выполнения бактериологических анализов, но наиболее часто пользуются методом, который называется определением титра *Coli*. При этом способе определяют только кишечную палочку, присутствие которой является главным показателем загрязнения воды. Качество воды оценивается по тому объему, в котором удаётся обнаружить одну кишечную палочку. В соответствии с этим подземные воды подразделяют: вода, в 100 см³ которой обнаружена одна кишечная палочка — здоровая вода, в 10 см³ — достаточно здоровая, в 1 см³ — сомнительная, в 0,1 см³ — нездоровая, в 0,01 см³ — совершенно нездоровая.

Отбор проб воды на бактериологический анализ обычно поручается медицинскому персоналу (врачам, фельдшерам и сестрам), могущему обеспечить необходимую стерилизацию тары и рук.

Химический анализ. Для качественной характеристики подземных и поверхностных вод химический анализ является совершенно необходимым. Только при наличии химического анализа можно говорить о пригодности воды в той или иной области народного хозяйства и промышленности. Точность и характер анализа зависят от тех целей, которые он преследует. При предварительных гидрогеологических исследованиях можно ограничиться сокращенными анализами, которые выполняются в походных полевых лабораториях. Это особенно целесообразно, так как хотя в подземных водах можно обнаружить чуть ли не все химические элементы, существенную роль в определении качества воды играют только немногие. Полные химические анализы производятся обычно в ограниченном количестве. При производстве гидрогеологических исследований того или иного специального назначения химические анализы воды принимают специфический характер. В них главное внимание уделяется тем компонентам, которые имеют в данном случае наиболее существенное значение.

Химический анализ дает количество растворенных в воде веществ и их химический состав. По первому признаку, т. е. по степени минерализации воды подразделяются на пресные, слабо соленые, соленые и рассолы (стр. 199). По химическому составу среди подземных вод выделяются карбонатные, сульфатные, хлористые и кислые.

В результате выпаривания воды при температуре 105—110° С на дне фарфоровой чашки образуется сухой остаток. Количество его выражается в миллиграммах на 1 л воды и служит для характеристики степени минерализации. Содержание отдельных компонентов также обычно выражается в миллиграммах на 1 л, хотя в последнее время все более входит в употребление эквивалентная форма выражения химических анализов воды. Она основана на том, что различные химические элементы соединяются между собой в строго определенных эквивалентных весовых отношениях. Так, например, при образовании NaCl каждые 23 (атомный вес) весовые единицы Na соединяются с 35 весовыми единицами хлора, т. е. если анализ выражен в миллиграммах, то 23 мг Na эквивалентны 35 мг Cl. Следовательно, разделив вес Na, Cl или другого любого иона на его атомный вес, мы получаем число его эквивалентных единиц. Так как положительные ионы (катионы) соединяются только с отрицательными (анионами), то очевидно, что число миллиграмм-эквивалентов катионов, определенных анализом, должно быть равно числу миллиграмм-эквивалентов анионов. Это дает возможность легко проверить правильность химического анализа воды и является одним из главнейших преимуществ выражения результатов анализа в миллиграмм-эквивалентной форме.

Химический состав вод раньше давался в виде окислов, но в настоящее время общепринятой является ионная форма.

В природных водах встречаются, главным образом, следующие ионы:

катионы H^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{++} , Mn^{++} , NH_4^+ ,
анионы Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , CO_3^{--} , OH^- , NO_3^- , NO_2^-

Сочетание катионов Ca^{++} и Mg^{++} с анионами HCO_3^- и CO_3^{--} обуславливает устранимую жесткость воды, а сочетание Ca^{++} и Mg^{++} с Cl^- и SO_4^{--} — неустранимую (см. стр. 199—200).

Из классификаций природных вод по химическому составу растворенных в них веществ, наибольшей популярностью пользуется классификация Пальмера. Согласно этой классификации все воды подразделяются на 3 основных и 2 промежуточных класса. Каждый из классов обладает определенными свойствами, отражающими зависимость химического состава подземных вод от геологического строения и условий залегания. К первому и второму классам относятся карбонатные воды, причем воды первого класса обычно слабо минерализованы и встречаются в изверженных породах и в нефтяных месторождениях. Минерализация вод второго промежуточного класса обычно выше минерализации вод первого класса, главным образом, за счет устранимой жесткости. Воды этого класса больше связаны с осадочными породами. Сульфатные воды третьего класса характеризуются постоянной жесткостью и встречаются среди осадочных пород. К четвертому классу относятся хлоридные сильно минерализованные подземные воды степей и пустынь, а также воды соленых озер и морей. Пятый класс составляют кислые воды, которые чаще всего встречаются в рудниках.

Результаты химических анализов природных вод даются не только в виде таблиц, но для наглядности изображаются также графически в виде различных диаграмм, что облегчает сравнение вод по их солевому составу. Для изображения ряда химических анализов пользуются диаграммой-треугольником или диаграммой-квадратом Н. И. Толстихина, в которых отдельные анализы отмечаются в виде точек или кружков. Положение точек характеризует химизм вод, причем воды, близкие по химическому составу, группируются в определенных частях треугольника или квадрата. Изображение отдельных химических анализов удобно производить с помощью диаграммы-круга (рис. 203). В этом случае углы секторов пропорциональны про-

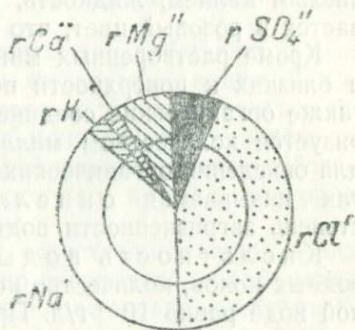


Рис. 203. Диаграмма-круг (по Н. И. Толстихину).

центному содержанию отдельных ионов, а степень минерализации отражается длиной радиуса, которая уменьшается с уменьшением концентрации воды. Так, если степень минерализации в два раза меньше, то и длина радиуса тоже уменьшается в два раза (рис. 203).

Жесткость воды (стр. 199—200) определяется рядом методов, которые основаны на свойстве жестких вод не давать мыльной пены до тех пор, пока все соли кальция и магния не будут осаждены мылом. Так как конец реакции выражен не резко, то эти методы дают не всегда достаточно устойчивые результаты. Более точным способом непосредственного определения жесткости является метод Бляхера, основанный на том, что после осаждения солей кальция и магния пальмитиновокислым калием, жидкость, содержащая фенолфталеин, окрашивается в розовый цвет, что и указывает на конец реакции.

Кроме растворенных минеральных веществ, в поверхностных и близких к поверхности подземных водах могут встречаться также органические соединения. Общее содержание их характеризуется количеством миллиграммов кислорода, необходимого для окисления органических веществ в одном литре воды. Это — так называемая окисляемость, которая характеризует степень загрязненности воды.

Кислотность воды определяется концентрацией водородных ионов, количество которых в химически чистой нейтральной воде равно 10^{-7} г/л. Присутствие в воде свободных кислот повышает концентрацию водородных ионов, а наличие щелочей понижает ее. Следовательно, кислая вода будет иметь абсолютное значение показателя степени меньше 7, а щелочная — больше 7. Кислотность выражают через рН и абсолютное значение показателя степени. Степень кислотности имеет большое значение при характеристике и оценке воды. Она определяет воздействие воды на окружающую среду: горные породы, каменные строительные материалы, металлы и т. п. От нее также зависит интенсивность биологических процессов, протекающих в воде. Кислотность воды определяется электрометрическим или колориметрическим методами. Первый метод отличается большей точностью, но требует сложного оборудования и в полевых условиях неприменим.

Все природные воды содержат в растворе газы, главнейшими среди которых являются углекислота (CO_2), кислород (O_2) и сероводород (H_2S). Количество газов в воде очень изменчиво и меняется в зависимости от температуры и давления.

Углекислота (стр. 200), связанная и полусвязанная, определяется титрованием раствором соляной кислоты (HCl) в присутствии метилоранжа до перехода желтой окраски в оранжевую. Определение общего количества свободной углекислоты производится титрованием раствором соды (Na_2CO_3) в присутствии фенолфталеина до окрашивания жидкости в розовый цвет. Определение агрессивной углекислоты основано на ее спо-

способности растворять углекислые соединения, переводя их в бикарбонаты. Поэтому до взятия пробы воды, в бутылку всыпается около 2 г хорошо измельченного в порошок химически чистого CaCO_3 . Тщательно закупоренную бутылку оставляют стоять 6—7 дней, взбалтывая ее по нескольку раз в день. Разница в содержании растворенных бикарбонатов в этой воде по сравнению со свежей водой дает возможность определить количество агрессивной углекислоты. Выражается агрессивная углекислота (CO_2) в мг/л, но для инженерных целей ее нагляднее выразить в миллиграммах CaCO_3 , растворяющихся в одном литре исследуемой воды. Подземные воды обычно содержат агрессивной углекислоты больше, чем поверхностные. Количество ее часто достигает значительных размеров. Так, например, в Швеции были обнаружены воды с содержанием до 80—90 мг/л агрессивной углекислоты.

Кислород в значительных количествах наблюдается в неглубоко залегающих грунтовых и межпластовых водах. С глубиной содержание растворенного в воде кислорода уменьшается. Он образует ржавчину на железных конструкциях, причем при совместном присутствии с углекислотой коррозирующее действие его повышается. Количество растворенного в воде кислорода определяется иодометрическим путем.

Сероводород присутствует в естественных водах в виде свободного и связанного. Качественно сероводород часто может быть определен по запаху. Количественное определение производится титрованием иодом в присутствии крахмала. В тот момент, когда весь сероводород окислен, жидкость окрашивается в синеголубой цвет от избыточной капли раствора иода.

Оценка природных вод. Вода для питья должна быть свободной от болезнетворных бактерий, не иметь неприятного запаха и вкуса, быть прозрачной и обладать освежающей температурой. Санитарная оценка имеет в данном случае наиболее важное значение и дается на основании бактериологического анализа (стр. 307—308). Каких-либо общих норм пригодности воды для питья в зависимости от ее химического состава в настоящее время нет. Все попытки создать такие нормы успеха не имели, так как пригодность воды для питья в сильной мере зависит от местных геологических условий и привычек населения. В результате этого нормы, устанавливавшиеся различными съездами, конференциями и отдельными исследователями, резко расходятся между собой и могут служить только для общей ориентировки.

Ценные указания при качественной оценке воды часто дают вещества, которые сами по себе в тех количествах, в которых они обычно встречаются, безвредны:

1) Аммиак (NH_3) может быть неорганического или органического происхождения. В последнем случае он образуется вследствие распада белковых веществ и свидетельствует о загрязнении воды органическими веществами.

2) Азотистая (HNO_2) и азотная (HNO_3) кислоты указывают на возможность загрязнения воды. Особенное подозрение вызывает вода, которая, кроме этих кислот, содержит также хлор и серную кислоту.

3) Хлор (Cl) бывает органического и минерального происхождения. Первый указывает на загрязнение воды, второй же в санитарно-гигиеническом отношении значения не имеет и содержание его в воде для питья допустимо в количествах, которые не оказывают влияния на вкус воды. Характер хлора устанавливается на основании гидрогеологических условий местности и путем сопоставления с другими данными анализа воды.

4) Окисляемость в повышенных размерах говорит о загрязнении воды. Исключение представляют болотные воды, которые обладают высокой окисляемостью, но безвредны. Однако, присутствие большого количества гуминовых веществ придает этим водам неприятный вкус и для питья их лучше не употреблять.

5) Жесткость при оценке воды для питья существенного значения не имеет, но нежелательна при использовании воды для хозяйственных целей, так как вода с повышенной жесткостью вызывает перерасход мыла, а мясо и овощи в ней плохо развариваются. В случае надобности, для смягчения воды пользуются гашеной известью $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ и кальцинированной содой (Na_2CO_3).

6) Кислород в малом количестве в воде (менее $3 \text{ см}^3/\text{л}$) указывает на процессы гниения.

7) Кислотность (pH) также служит критерием при оценке воды для питья. Вода с pH от 6 до 7 считается подозрительной, а с $\text{pH} < 6$ — негодной.

8) Температура питьевой воды должна быть от 5 до 15°C . Очень низкая или высокая температура воды, а также резкие колебания ее говорят о неглубоком залегании подземных вод.

Вода как среда для бетона имеет особенно важное значение в гидротехническом строительстве. В этих условиях разрушающее действие на бетон определяется не только химическим составом воды, но конструкцией и характером работы сооружения. Неблагоприятными факторами в данном случае являются высокие гидростатические давления и колебания уровня воды, которые вызывают кристаллизацию солей в самом бетоне, в результате чего наблюдается вспучивание и разрушение бетонных блоков. Чем менее плотен бетон, тем интенсивнее идет процесс его разрушения. Немаловажную роль играет также скорость, с которой вода омывает бетонное сооружение. Все это делает очень сложным вопрос выработки общих норм для оценки воздействия воды на бетон и в каждом отдельном случае необходимо учитывать не только химический состав воды, но весь комплекс факторов, влияющих на прочность бетона того или иного сооружения.

Способность воды разрушать бетон путем химического

воздействия называется агрессивностью. Она проявляется в растворении извести, которая является главной составной частью бетона, и в образовании соли Деваля (сульфо-алюминат кальция — $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 30\text{H}_2\text{O}$). Интенсивное растворение извести происходит при содержании в воде агрессивной углекислоты и гуминовых кислот. Соли Деваля образуются при воздействии на бетон воды, богатой сернокислыми солями. Получение соли Деваля, называемой также цементной бациллой, сопровождается увеличением объема в 2,5 раза. Вследствие этого нарушается структура бетона, образуются трещины, через которые вода проникает в бетон, и процесс разрушения проходит очень интенсивно. Так как бетон представляет собой массу щелочного характера, то большими разрушительными свойствами обладают воды с кислой реакцией. Это делает важным учить водородного показателя pH при оценке степени агрессивности воды. Агрессивность воды зависит также от степени ее минерализации и увеличивается с повышением концентрации солей в воде. Особенно сильное влияние оказывают сернокислые соли, из которых наиболее опасен сульфат магния. В то же время, при одном и том же количестве агрессивной углекислоты, слабо минерализованная (мягкая) вода обладает обычно большей разрушительной способностью, чем вода минерализованная, жесткие же воды, даже с большим содержанием агрессивной углекислоты, не причиняют вреда бетонным сооружениям. Таким образом, разрушительное действие воды на бетон обуславливается не только количеством агрессивной углекислоты или солей в воде, но так же и их сочетанием, что необходимо не забывать при определении степени агрессивности природных вод. Этим в значительной мере объясняется то, что в практике инженерного дела наблюдались случаи разрушения бетона водами с резко различаемыми количествами агрессивной углекислоты — от 1200 мг/л до 30 мг/л и даже менее. Характер конструкций, условия их работы и качество бетона, конечно, играли при этом немаловажную роль.

Количественное определение агрессивности воды по отношению к бетону определяют по концентрации водородных ионов, могущих вступить в реакцию с карбонатами. Для этой цели служит формула Орлова:

$$H_{\text{агр}} = 3 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{b - 6,157 \cdot 10^{-3} a^2}{a} \quad (27)$$

где $a = 1000 (\text{HCO}_3^-)$ — молярная концентрация бикарбонатного радикала, увеличенная в 1000 раз, причем HCO_3^- выражено в молях¹, $b = 1000(\text{H}_2\text{CO}_3^*)$ — молярная концентрация свободной углекислоты.

Аналогично тому, как это принято для концентрации водородных ионов pH (стр. 309), за меру агрессивности воды принимают

¹ Моль или грамм-молекула численно равна молекулярному весу вещества.

абсолютную величину отрицательного десятичного логарифма значения H''_{agr} . Эту величину называют показателем агрессивности воды и обозначают через p_{agr} . Воды, у которых $p_{agr} > 7,8$, практически считаются безвредными; воды же с $p_{agr} < 7,8$ обладают агрессивностью и тем большей чем меньше p_{agr} .

При оценке агрессивности природных вод необходимо учитывать не только естественный их химический состав, но также различные вещества, попадающие в них из технологических отходов производства. Наиболее вредными являются: серная кислота (H_2SO_4), сульфаты (Na_2SO_4 , $MgSO_4$ и $FeSO_4$), сероводород (H_2S), соляная кислота (HCl), соли аммония (NH_4R), фенол-карболовая кислота ($C_6H_5.OH$) и жиры. Неправильно организованный сброс отработанных вод часто приводил к катастрофическим последствиям. Вредным действием на бетон охлаждающих бассейнов отличаются обычно также оборотные воды, применяющиеся на многих металлургических заводах.

Вода для затворения бетона вносится в бетон сравнительно в небольших количествах. Это уменьшает влияние ее химического состава на прочность бетона по сравнению с водой, служащей средой для бетона, когда сооружение оmyвается водой в течение ряда десятков лет. Поэтому при оценке воды для затворения бетона количество вредных веществ допускается в два раза больше, чем для воды, служащей средой.

Для затворения бетона, как правило, не допускаются болотные, сильно минерализованные и загрязненные фабричные воды. При применении морской воды и воды с заметным количеством примесей, учитываются снижение прочности бетона на 10%. Содержание в воде даже очень малых количеств сахара вызывает разрушение бетона.

Вода для ирригации используется как поверхностная, так и подземная. Оценка пригодности ее производится с учетом целого ряда факторов: химического состава воды, ее температуры, строения и состава почв, глубины залегания грунтовых вод, условий работы оросительной системы и т. д. В зависимости от химического состава на прочность бетона по сравнению с водой, соли, содержащиеся в воде, могут оказаться в одном случае вредными для произрастания растений, а в другом не только не вредными, но даже полезными. При приблизительной оценке пригодности воды для орошения пользуются ирригационным коэффициентом, который равен столбу воды в дюймах, дающему при испарении количество щелочей, повреждающее почву для 40 обычных сельскохозяйственных культур. Воды с ирригационным коэффициентом меньше 1,2 непригодны для поливки. При коэффициенте от 1,2 до 18 необходим искусственный дренаж, а воды с ирригационным коэффициентом больше 18 вполне пригодны для ирригации и использование их не требует применения каких-либо специальных профилактических мер.

Вода для паровых котлов используется в условиях повышенных температур и давлений. Это ведет к активизации химических процессов и к течению процессов, которые в обычных условиях вовсе не происходят. Поэтому вода для паровых котлов должна иметь нейтральную или слабо щелочную реакцию. Она не должна содержать свободной углекислоты, сульфатов, жиров и масел, а содержание прочих солей, органических соединений и взвешенных веществ допустимо только в минимальных количествах. Пригодность воды для паровых котлов зависит также и от системы котельной установки. Так, для жаротрубных котлов допускается вода с жесткостью до 20°, для дымогарных — до 15°, водотрубных — до 5—6°, а для котлов повышенного давления вода должна быть совершенно мягкой.

Оценка воды для паровых котлов производится с точки зрения: образования накипи, коррозии металла, вспенивания воды и каустической хрупкости.

Образование котельной накипи происходит в результате сложных физико-химических процессов, протекающих в котле. Главную роль при этом играют двууглекислые соли кальция и магния $[Ca(HCO_3)_2, Mg(HCO_3)_2]$ и гипс $(CaSO_4)$, а также система котла, давление пара и т. д. Различают два рода накипей: котельный камень и рыхлый шлам, причем первый образуется главным образом за счет сульфатов.

Коррозия котла, т. е. разрушение его стенок вследствие замещения железа водородом, происходит главным образом при наличии в воде кислорода, агрессивной углекислоты и сероводорода. Также вредны все вещества, вызывающие увеличение концентрации водородного иона.

Вспенивание представляет собой образование устойчивых пузырьков на поверхности воды. У слабо минерализованных вод оно незначительно, но увеличивается с повышением минерализации. Процесс образования пены в паровых котлах мало изучен, однако установлено, что наиболее важное значение в нем имеют хорошо растворимые соли натрия и калия. Присутствие взвешенных веществ и масел усиливает процесс вспенивания.

Каустическая хрупкость — это разрушение перенапряженного железа вследствие высокой концентрации щелочей. Присутствие сульфатов предохраняет от каустической хрупкости, а наличие хлоридов увеличивает ее.

Вода для различных промышленных предприятий и производств, как текстильное, кожевенное, красильное, сахарное, крахмальное, маслобойное, хлебопекарное, консервное и другие производства, оценивается в зависимости от специфических требований, предъявляемых ими к воде.

Стационарные гидрогеологические исследования и гидрогеологические карты

Замечательной особенностью подземных вод является то, что уровень зеркала водоносных горизонтов, их водообильность

и физико-химические свойства воды не остаются постоянными, а подвержены случайным, сезонным и многолетним колебаниям. Эти изменения в режиме подземных вод вызываются рядом естественных и искусственных причин. Главнейшими естественными причинами являются: отдельные дожди, сезонные и многолетние изменения количества выпадающих осадков, весенние паводки, наводнения, приливы и отливы, а также колебания температуры и барометрического давления. К искусственным причинам относятся плотины, каналы, туннели, орошение полей, дренаж, водоотлив и другие инженерные сооружения и мероприятия, нарушающие нормальный ход геологических процессов.

В первую очередь режим подземных вод зависит от дождей, так как количество инфильтрующейся воды стоит в прямой зависимости от количества выпадающих осадков. Эта связь тем теснее, чем ближе к поверхности залегает водоносный горизонт и чем выше водопроницаемость перекрывающих его горных пород. Уровень зеркала водоносных горизонтов, проникновение в которые выпавших на земную поверхность осадков происходит легко, повышается непосредственно после прохождения дождя. Чем глубже залегают подземные воды и чем медленнее происходит процесс инфильтрации, тем менее резко сказывается влияние дождя на режиме водоносного горизонта и тем больший промежуток времени отделяет момент выпадения осадков от максимального повышения зеркала подземных вод. Очень часто повышение зеркала наблюдается только через несколько месяцев после сильных дождей или дождливых периодов, какими в северных и средних широтах являются весна и осень. В результате максимальное стояние подземных вод наблюдается не весной и осенью, как этого можно было бы ожидать, а летом и зимой, когда инфильтруется минимальное количество влаги. В то же время длительными метеорологическими наблюдениями установлено, что климат не остается постоянным, и подвержен многолетним колебаниям, т. е. после ряда прохладных влажных лет наступает более теплый и сухой период. Этим объясняется то, что режим подземных вод подвержен не только сезонным, но и многолетним изменениям.

Следовательно, как бы детально ни были проведены гидрогеологические исследования, они не дадут необходимых для проектирования сооружений сведений о подземных водах, если они были выполнены в короткий промежуток времени. Поэтому детальные гидрогеологические исследования под ответственные сооружения обычно сопровождаются стационарными гидрогеологическими наблюдениями, которые производятся не менее как за один гидрологический год¹ до начала стройки, продолжают во время строительных работ и в сокращенном масштабе сохра-

¹ Гидрологический год для большей части площади СССР начинается с 1 октября.

няются в дальнейшем. Понятно, что ценность данных стационарных наблюдений тем выше, чем дальше они производились. В настоящее время у нас в СССР и в других странах организованы специальные постоянные гидрогеологические станции, которые непрерывно ведут наблюдения за режимом подземных вод целых областей и районов. Так, например, Ленинградское геологическое управление ведет такие наблюдения за водоносными горизонтами, приуроченными к кембрийским и силурийским породам, развитым в северной части Ленинградской области.

При стационарных гидрогеологических исследованиях оборудуется сеть наблюдательных пунктов, которыми могут служить буровые скважины, колодцы, источники и другие обнажения подземных вод. Все наблюдательные пункты связываются нивелировкой и служат для ежедневных измерений уровня стоящих вод в них. Периодически из них берутся пробы воды для производства химических анализов, определяется производительность грунтового потока и делаются другие наблюдения в зависимости от специальных задач, поставленных перед стационарными наблюдениями. Если они имеют задачей выяснить характер зависимости режима подземных вод от поверхностных водотоков и от метеорологических явлений, то дополнительно на реках, озерах, прудах и каналах устанавливаются водомерные посты для наблюдения за уровнем воды. Одновременно ведутся метеорологические наблюдения: измерения количества осадков, влажности испаряемости, температуры и барометрического давления.

Результаты наблюдений заносятся в специальные журналы, на основании которых для каждого наблюдательного пункта или для отдельной территории строятся графики изменений режима подземных вод. Одновременно строят графики количества выпадающих осадков, недостатка насыщения и других метеорологических факторов. Сопоставление графиков дает возможность легко установить степень зависимости отдельных явлений друг от друга (рис. 204).

Количество наблюдательных пунктов, их расположение и густота сети зависят от задач, поставленных перед стационарными исследованиями. Если эти исследования охватывают большие территории и должны решать общие гидрогеологические вопросы, как выяснение связи подземных вод с гидрометеорологическими факторами, изучение режима глубоко залегающих, выдерживающихся на больших территориях водоносных горизонтов и т. п., то расстояния между отдельными пунктами могут измеряться километрами и даже десятками километров.

В случае, когда стационарные наблюдения являются естественным продолжением детальных гидрогеологических исследований под гидротехнические сооружения и строительные площадки, расстояние между наблюдательными пунктами зависит от гидрогеологических условий изученной территории и характера проектируемого сооружения; они в этом случае обычно не превышают десятков или сотен метров. В такой же зависи-

мости находится и расположение пунктов. Так, например, если стационарные наблюдения производятся под плотину, то наблюдательные пункты располагаются по поперечникам, пересекающим долину реки. Один из поперечников располагается по оси

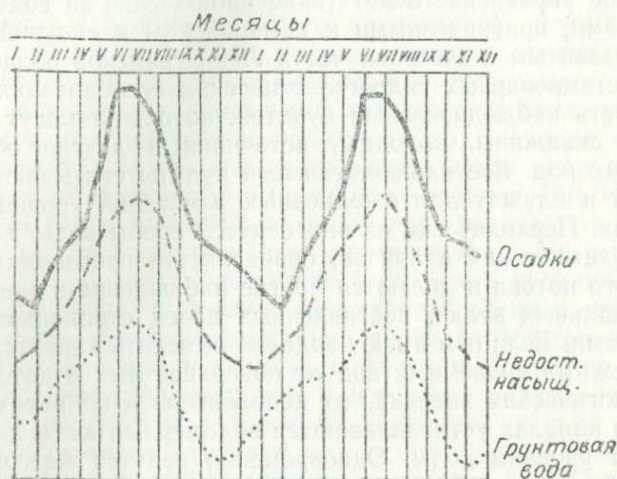


Рис. 204. Двухгодичный график колебаний уровня грунтовых вод, атмосферных осадков и недостатка насыщения.

плотины, а остальные в верхнем и нижнем бьефах будущего сооружения. Количество поперечников будет зависеть от сложности геологического строения и гидрогеологических условий, а также от размеров водохранилища.

При стационарных исследованиях под каналы наблюдательные пункты проектируются по оси канала и по перпендикулярным к ней поперечникам на наиболее сложных и ответственных участках сооружения. При исследовании режима подземных вод на территориях, предназначенных для орошения или для осушения, наблюдательные пункты могут быть расположены в виде правильной шахматной или квадратной сетки.

В результате стационарных наблюдений вод могут быть решены различные вопросы, имеющие первостепенное значение для самых разнообразных областей народного хозяйства и промышленности. Стационарные наблюдения дают возможность выяснять:

- 1) зависимость режима подземных вод от метеорологических факторов и поверхностных вод;
- 2) постоянство дебита, уровня и качества воды какого-либо водоносного горизонта, предназначенного для водоснабжения населенного пункта или предприятия;

5) режим заболачивания территорий, предназначенных для осушения, знание которого необходимо для правильного проектирования дренажных сооружений;

6) влияние на подземные воды инфильтрации воды из оросительных каналов и явления засоления почв;

7) условия работы фундаментов, находящихся в зоне воздействия грунтовых вод;

8) влияние леса на грунтовые воды, и целый ряд других вопросов.

Материалы длительных стационарных наблюдений позволяют составить разные гидрогеологические карты, отражающие разнообразные стороны гидрогеологических условий исследованной небольшой площади или целой территории. Первостепенное практическое значение имеют гидрогеологические карты, изображающие зеркало подземных вод в гидроизогипсах, т. е. в кривых, соединяющих точки одинаковой высоты стояния подземных вод. Гидроизогипсы дают рельеф зеркала водоносного горизонта и в принципе ничем не отличаются от горизонталей топо-

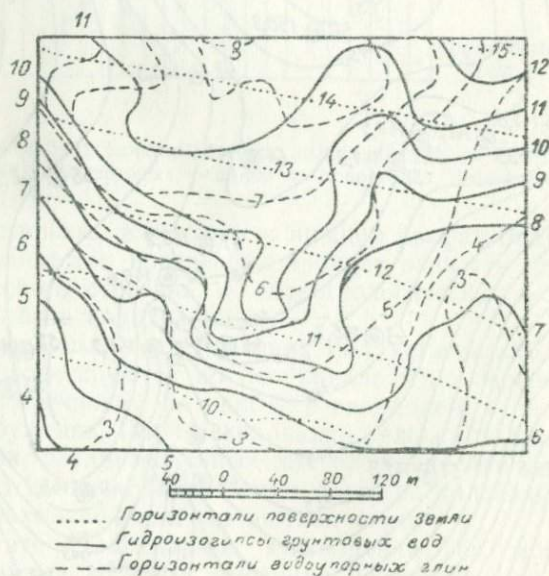


Рис. 206. Гидрогеологическая карта.

пографических карт. Проводятся гидроизогипсы на основании отметок уровня воды в наблюдательных пунктах, а следовательно точность нанесения их будет тем больше, чем гуще наблюдательная сеть (рис. 205). Если на гидрогеологическую карту с гидроизогипсами нанесены также горизонталю поверхности земли,

то наглядно выступает степень зависимости характера зеркала подземных вод от рельефа. В то же время для каждой точки на карте можно легко определить глубину залегания зеркала водоносного горизонта (рис. 206). Нанесение в горизонталях кровли подстилающих пород дает возможность определить в любом месте также мощность насыщенных водой пород, так как в данном случае везде известна абсолютная отметка зеркала водоносного горизонта и подстилающего его водоупора (рис. 206).

Так как абсолютные отметки зеркала подземных вод не остаются постоянными, то составлять гидрогеологическую карту в гидроизогипсах можно только на основании измерений, произ-

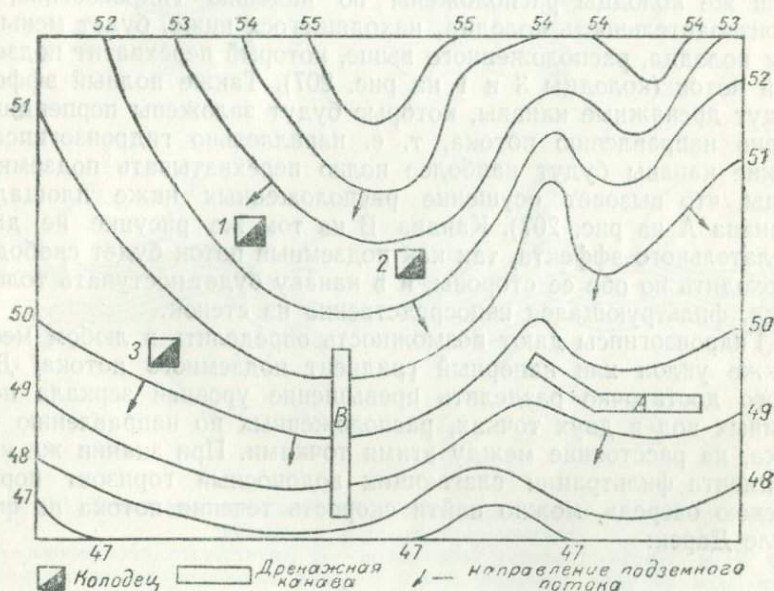


Рис. 207. Примеры правильного и ошибочного проектирования эксплуатационных колодцев и дренажных канав по карте в гидроизогипсах.

веденных одновременно во всех наблюдательных пунктах. Составленная таким образом карта будет характеризовать залегание зеркала водоносного горизонта только на момент производства измерений. Поэтому при стационарных исследованиях составляют несколько карт в гидроизогипсах, приурочивая время их составления к наиболее характерным периодам, какими, например, являются самое высокое и самое низкое стояние зеркала подземных вод.

Если наблюдения ведутся над артезианским водоносным горизонтом, то измерения в скважинах дают положение пьезо-

метрического уровня, а кривые равных высот называются пьезоизогипсами.

Гидрогеологическая карта в гидроизогипсах является очень ценным документом, позволяющим решать целый ряд важных в теоретическом и в практическом отношении вопросов. По ней можно, кроме глубины залегания подземных вод, определить в любой точке направление подземного потока, которое будет проходить перпендикулярно к гидроизогипсам (рис. 207). Зная направление потока, можно правильно расположить эксплуатационные на воду колодцы, т. е. так, чтобы они не перехватывали друг у друга поступающую к ним воду. Для этого они должны быть расположены вдоль гидроизогипс (колодцы 1 и 2 на рис. 207), если же колодцы расположены по падению гидроизогипс, то производительность колодца, находящегося ниже, будет меньше, чем колодца, расположенного выше, который перехватит подземный поток (колодцы 3 и 1 на рис. 207). Также полный эффект дадут дренажные каналы, которые будут заложены перпендикулярно направлению потока, т. е. параллельно гидроизогипсам. Такие каналы будут наиболее полно перехватывать подземные воды, что вызовет осушение расположенных ниже площадей (канавы А на рис. 207). Канавы В на том же рисунке не даст желательного эффекта, так как подземный поток будет свободно проходить по обе ее стороны, а в канаву будет поступать только вода, фильтрующаяся непосредственно из стенок.

Гидроизогипсы дают возможность определить в любом месте также уклон или напорный градиент подземного потока. Для этого достаточно разделить превышение уровней зеркала подземных вод в двух точках, расположенных по направлению потока, на расстояние между этими точками. При знании же коэффициента фильтрации слагающих водоносный горизонт пород, в свою очередь, можно найти скорость течения потока по формуле Дарси:

$$v = ki = k \frac{h}{l} \quad (28)$$

где v — скорость течения, k — коэффициент фильтрации, $i = \frac{h}{l}$ — уклон или напорный градиент.

Форма и расположение гидроизогипс относительно русла реки позволяют судить о характере связи подземных вод с поверхностными. Когда непосредственная связь между поверхностным водотоком и подземными водами отсутствует, гидроизогипсы пересекают русло реки в любом направлении, не меняя при этом своей формы (рис. 208, А). Если река дренирует водоносный горизонт, т. е. подземные воды питают реку, то гидроизогипсы, подходя к реке, изгибаются выпуклой стороной вниз по течению (рис. 208, Б). В случае питания подземных вод рекой, гидроизогипсы выгнуты вверх по течению (рис. 208, В), если же с одной стороны реки гидроизогипсы обращены выпуклостью вниз по

течению, а с другой — вверх, то это значит, что в первом берегу река получает подземную воду и отдает свою воду в другом (рис. 208, Г).

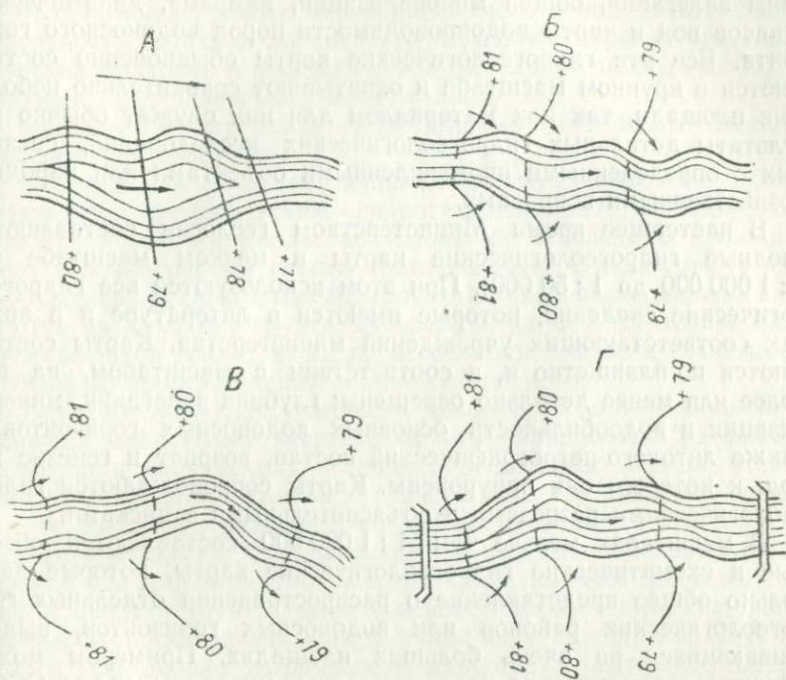


Рис. 208. Отражение взаимосвязи поверхностных вод с подземными на расположении и форме гидроизогипс.

А — взаимосвязь отсутствует, Б — водоносный горизонт отдает воду реке, В — река питает подземные воды, Г — река получает воду из водоносного горизонта в одном берегу и отдает ее в другом.

Пользуясь гидрогеологической картой в гидроизогипсах для практических целей необходимо всегда иметь в виду, что она отражает положение зеркала подземных вод только на какой-то определенный момент и что в другое время высота зеркала подземных вод и направление потока могут быть совершенно иными. Так, например, многие реки в паводок отдают свою воду выходящему в их долину водоносному горизонту, а в межень сами питаются за счет его. Поэтому всегда важно знать дату, на которую составлена карта, а для получения полного представления о режиме подземных вод необходимо иметь ряд карт, которые бы охватывали промежуток времени не менее одного гидрогеологического года. Последнее возможно только при наличии длительных стационарных наблюдений.

На основании данных стационарных исследований, кроме карты в изогипсах могут быть составлены самые разнообразные специальные гидрогеологические карты в зависимости от целей изысканий. Такими картами, например, могут быть: карты глубины залегания, общей минерализации, химизма, динамических запасов вод и карты водопроницаемости пород водоносного горизонта. Все эти гидрогеологические карты обычно составляются в крупном масштабе и охватывают сравнительно небольшие площади, так как материалом для них служат обычно результаты детальных гидрогеологических исследований, связанных с определенными промышленными объектами или народнохозяйственными вопросами.

В настоящее время Министерством геологии составляются сводные гидрогеологические карты в мелком масштабе (от 1 : 1 000 000 до 1 : 50 000). При этом используются все гидрогеологические сведения, которые имеются в литературе и в архивах соответствующих учреждений министерства. Карты составляются по-планшетно и, в соответствии с масштабом, на них более или менее детально освещены: глубина залегания, минерализация и водообильность основных водоносных горизонтов, а также литолого-петрографический состав, возраст и генезис пород, к которым они приурочены. Карты сопровождаются гидрогеологическими разрезами и объяснительными записками.

В масштабах мельче чем 1 : 1 000 000 составляются обзорные и схематические гидрогеологические карты, которые дают только общее представление о распространении отдельных гидрогеологических районов или водоносных горизонтов, выдерживающихся на очень больших площадях. Примером может служить схематическая карта природных минеральных вод СССР, в масштабе 1 : 10 000 000, или карта районов фактического и возможного использования артезианских и глубоких грунтовых вод Европейской части СССР, в масштабе 1 : 50 000 000.

Глава XVII

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные требования, предъявляемые к инженерно-геологическим исследованиям

Инженерно-геологические исследования должны дать вполне определенный ответ на следующие вопросы, без решения которых невозможно проектирование крупного сооружения:

1) где имеется наиболее благоприятное геологическое строение под сооружение, район возведения которого намечается на основании экономических, технических и других факторов?

2) какие из геологических процессов, протекающих на выбранной территории, могут неблагоприятно отразиться на устойчивости и работе проектируемого сооружения?

3) в какой мере может быть нарушен естественный ход геологических процессов в результате возведения сооружения и его работы и как это отразится на устойчивости?

4) какими физико-механическими свойствами обладают грунты на месте строительства?

5) с помощью каких мероприятий можно повысить несущую способность грунта и предотвратить вредное влияние тех геологических факторов и процессов, которые могут вызвать деформации или даже разрушение сооружения?

6) какие естественные строительные материалы имеются вблизи строительства?

Ответить на все эти вопросы можно только на основе результатов геологических, гидрогеологических, геоморфологических¹ и геотехнических исследований. Последние устанавливают условия работы грунта применительно к конкретному типу сооружения. В свою очередь, геотехнические исследования базируются на механике грунта, изучающей работу грунта под влиянием внешней силы, и на грунтоведении, которое занимается изучением происхождения и свойств грунтов.

В то же время, возможность возведения сооружения не в меньшей мере будет зависеть от его типа, характера работы, размеров и конструкций. Условия, в которых можно строить плотины, каналы, туннели, гражданские сооружения, дороги и т. п., настолько различны, насколько отличаются эти сооружения друг от друга. Следовательно, в каждом отдельном случае прежде всего необходимо уяснить, какие из геологических явлений и свойств грунта имеют первостепенное значение, какие играют второстепенную роль, а какие могут совершенно не учитываться при оценке устойчивости данного объекта. В соответствии с этим должна быть проведена организация исследовательских работ и определен их характер, т. е. проектирование и постановка инженерно-геологических исследований, как правило, мыслимы только после того, как известны основные технические условия, которые определяют устойчивость сооружения и нормальный ход его работы. Таким образом, становится очевидным, что *инженерно-геологические исследования представляют собой, по сути дела, комплекс геологических, геоморфологических, гидрогеологических и геотехнических исследований, необходимых для оценки устойчивости того или иного объекта.* Однако в этом случае все эти изыскания получают определенную направленность, что и является характерной чертой инженерно-геологических работ, которые трудно себе представить без конкретного строительного объекта. В соответствии с этим инженерно-геологические исследования в каждом отдельном случае получают свои индивидуальные черты, в зависимости

¹ Геоморфология изучает зависимость форм рельефа от геологического строения.

от типа сооружения и конкретных геологических условий. Например, инженерно-геологические исследования под плотину в области развития изверженных пород будут отличаться от исследований в области развития закарстованных известняков. Также они не будут одинаковы для плотины и здания гидроэлектростанции в месте развития изверженных пород, хотя геологические условия одинаковы.

Зависимость характера инженерно-геологических исследований от стадии проектирования

Степень детальности и объем инженерно-геологических работ находятся в непосредственной зависимости от стадий проектирования, материал для которого они должны дать. Согласно постановлению Совнаркома, проектирование и строительство гидроэнергетических сооружений подразделяется на четыре основных стадии: 1) технико-экономический доклад, который по ходу работы может быть подразделен на рабочую гипотезу и схему использования (схематический проект), 2) проектное задание (эскизный проект), 3) технический проект и 4) рабочие чертежи, которые составляются после того как проект принят. Каждая из этих стадий проектирования нуждается в инженерно-геологических исследованиях, степень детальности которых соответственно возрастает.

Рабочая гипотеза решает вопрос возможности использования для гидротехнических целей целого речного бассейна или большого участка реки. В том и другом случае намечаются основные контуры подлежащей использованию территории. В данной стадии проектирования инженерно-геологические исследования ограничиваются обычно проработкой литературных и архивных геологических и гидрогеологических материалов. В случае надобности они пополняются маршрутной рекогносцировкой, во время которой учитываются все геологические, геоморфологические и гидрогеологические факторы, которые могут иметь значение при решении поставленной задачи.

Схема использования (схематический проект) часто объединяется с рабочей гипотезой. В этой стадии решается вопрос о реальной возможности и эффективности возведения плотины на отдельных участках реки. Одновременно производится ориентировочная инженерно-геологическая оценка отдельных вариантов расположения сооружений. Для этого необходимо выяснить общие инженерно-геологические условия возведения гидротехнических узлов на площадках отдельных вариантов, что возможно только при знании условий образования речной долины и истории ее развития с достаточной полнотой. Все это требует производства комплексных геологических, геоморфологических и гидрогеологических съемок, проходки небольшого числа достаточно глубоких разведочных выработок и постановки простейших опытных работ и лабораторных исследований подземных вод и грунтов. Главные выводы в этой ста-

дин проектирования все же делаются на основании данных описательного характера, а не на основании цифровых характеристик, число которых еще невелико.

Исследования на этой стадии проектирования необходимы также для составления программы более детальных работ.

Проектное задание (эскизный проект) нуждается в инженерно-геологических данных, достаточных для окончательного выбора варианта, т. е. для решения вопроса, где и как строить плотину и другие основные сооружения. Поэтому инженерно-геологические исследования для этой стадии проектирования являются особенно ответственными и в части выявления геолого-литологического строения, тектонических нарушений и гидрогеологических условий должны носить законченный характер.

Геотехнические исследования грунтов должны быть достаточны для ориентировочной цифровой характеристики несущей способности грунтов, ожидаемых осадок и сопротивления на сдвиг. Вопросам фильтрации и суффозии уделяется особое внимание. Главнейшие исследования ведутся на узлах сооружений, водохранилищах, вдоль трасс деривационных каналов и на месторождениях строительных материалов. Весь комплекс инженерно-геологических исследований состоит из детальной инженерно-геологической съемки в масштабе 1 : 10 000—1 : 2000, гидрогеологических детальных исследований с организацией стационарных наблюдений, горно-разведочных работ, гидрогеологических и геотехнических опытных работ, и лабораторных определений и испытаний. Детальность исследований должна исключить возможность каких-либо неожиданностей, в результате которых могло бы потребоваться существенное изменение проекта.

Технический проект требует инженерно-геологических исследований под отдельные сооружения, окончательно выбранные на основании проектного задания. На основе полученных данных уточняется место расположения отдельных сооружений и окончательно выбирается их тип и размеры. При этом устанавливаются отметки будущего подпора, дна канала и заложения фундаментов, а также разрабатываются специальные или профилактические меры к обеспечению нормальной работы сооружения.

При инженерно-геологических исследованиях под технический проект, по мере надобности, выполняются все виды работ, которые производятся и для проектного задания. Тем не менее, особое значение на этой стадии проектирования принимают опытные работы и лабораторные испытания. Они дают проектировщику цифровые расчетные величины по осадкам, фильтрации, суффозии и т. п.

Рабочий проект имеет задачей разработку отдельных деталей сооружения, чем обуславливаются сугубо прикладной характер и небольшой масштаб инженерно-геологических работ. Так как стадия рабочего проектирования и производства строи-

тельных работ перекрывают друг друга, то инженерно-геологические работы на этом этапе неразрывно связаны с жизнью строительства. В основном они слагаются из документации котлованов, наблюдений за осадками возводимых и построенных сооружений, стационарных наблюдений за режимом подземных вод и решения различных вопросов, возникающих в процессе строительства, как-то: водоснабжение временных поселков, дополнительные разведки строительных материалов и т. п.

Всесторонняя тщательная инженерно-геологическая документация котлованов перед заложением фундаментов имеет очень важное значение. С помощью ее устанавливается, в какой мере свойства вскрытого котлованом грунта совпадают с теми, которые были приняты при составлении технического проекта. Одновременно уточняются и исправляются составленные по разведочным данным геологические разрезы. Обнаруженные отклонения исправляются и учитываются в дальнейшем. Небольшие отклонения при этом имеют место очень часто, так как инженерно-геологические разрезы, составленные даже на основании самых детальных геологоразведочных работ, являются все же только приближенным отображением действительного строения грунтов. Точные инженерно-геологические зарисовки стенок и дна котлованов с характеристикой геотехнических свойств грунта являются, кроме того, материалом, позволяющим в любое время выявлять причины деформации, которые могут возникнуть во время эксплуатации сооружения.

Наблюдения за фактическими осадками во время строительства и эксплуатации сооружений имеют исключительно важное практическое значение. С помощью их удается установить, как протекает жизнь нового сооружения и насколько действительные осадки отличаются от вычисленных на основании условий залегания и физико-механических свойств грунтов в основании сооружения. Таким путем удается выявить, в какой мере пригодны методы, с помощью которых были определены осадки.

Наблюдения за фактическими осадками сооружений ведутся с помощью реперов различных конструкций и точных нивелировок. Реперы должны обладать полной неподвижностью, для чего закладываются в плотный грунт ниже глубины промерзания. Одновременно в фундаментах наблюдаемых объектов устраиваются спорные площадки для реек. Погрешность наблюдений, даже при наличии несложных инструментов, не должна быть больше 1 мм, при помощи же таких точных приборов, как мессуры, можно улавливать осадки в тысячные доли миллиметра.

Стационарные гидрогеологические наблюдения во время возведения гидротехнического объекта и его эксплуатации дают возможность выявить изменения режима подземных вод, вызванные работой сооружения. Для этой цели обычно используется сеть наблюдательных пунктов, оборудованных для стационарных наблюдений во время инженерно-геологических исследований под проектное задание и технический проект.

Таков ход инженерно-геологических исследований под сложнейший гидротехнический объект. В случае более простых сооружений, отдельные стадии проектирования объединяются, а инженерно-геологические исследования подразделяются на предварительные, на основании которых составляется проектное задание, и окончательные — под технический проект.

Отличительные черты отдельных видов работ при инженерно-геологических исследованиях

Специальные задачи, которые стоят перед инженерно-геологическими исследованиями, придают своеобразный характер выполняемым при этом работам. В зависимости от типа сооружения, для которого ведутся исследования, каждый вид работ приобретает еще индивидуальные черты, свойственные ему только при инженерно-геологических исследованиях под данный тип строительства.

Инженерно-геологическая съемка. Инженерно-геологическая съемка охватывает все вопросы, представляющие интерес для строительства. По сути дела она является комплексной съемкой, т. е. при производстве ее все внимание сосредоточивается не только на стратиграфии¹ и тектонике, но также изучаются: литология², геоморфология, гидрогеология, месторождения полезных ископаемых и все физико-геологические процессы и особенности строения района, имеющие значение при оценке инженерно-геологических условий. Так, например, размыв берегов рек, балок и оврагов, оползни, карстовые явления, выход подземных вод, заболачивание и т. д. подробно исследуются и тщательно наносятся на карту. Такая карта дает наглядное представление об общих инженерно-геологических условиях территории, предназначенной под строительство.

Особое внимание уделяется изучению тектонических трещин и трещин выветривания. При этом точно фиксируется простирание, падение и размеры трещин. Большое значение при инженерно-геологической характеристике пород имеет также степень трещиноватости, которая при съемке определяется количеством трещин на квадратную единицу площади, а при бурении — на единицу глубины скважины.

Геоморфология является существенным элементом инженерно-геологической съемки. Отражая во внешней форме рельефа геологическое строение и историю развития морфологических элементов, геоморфология позволяет по характеру земной поверхности судить о литолого-петрографическом составе слагаю-

¹ Стратиграфия — порядок залегания пород и их относительный возраст.

² Литология — петрографический состав отдельных слоев и изменение его в горизонтальном и вертикальном направлениях.

щих горных пород. Кроме того, геоморфология, характеризующая формы рельефа и историю их развития, облегчает понимание тех геологических процессов, которые протекали раньше и происходят в настоящее время на исследуемой территории. Особенно большое значение имеет геоморфологическое изучение речных долин при исследованиях под гидротехнические сооружения для стадии схематического проекта, когда выбираются места под водохранилища и плотины.

При инженерно-геологической съемке, кроме прочих методов исследования, с успехом используются также и геофизические методы (стр. 267—269).

Гидрогеологическая съемка. Гидрогеологическая съемка при инженерно-геологических исследованиях обыкновенно входит в комплексную съемку. Только в очень сложных в гидрогеологическом отношении случаях она выделяется как самостоятельный вид работ.

Горные работы и бурение. Горные выработки и способы их проходки при инженерно-геологических изысканиях ничем, в основном, не отличаются от тех, которые выполняются при детальных геологических и геолого-разведочных исследованиях (стр. 249—254). Однако, задачи этих работ на строительных площадках ставятся шире, так как они служат также для получения проб грунта. Наиболее ценными в этом отношении будут выработки, из которых без особого труда можно отбирать грунтовые монолиты с ненарушенной структурой и с естественной влажностью. Это особенно важно, так как всякое изменение структуры грунта меняет его физико-механические свойства, а испытания в лабораториях дают недостаточно надежные результаты. Отбор рыхлого грунта с ненарушенной структурой из канав, шурфов, котлованов и других горных выработок производится с помощью металлических цилиндров с отъемным дном и крышкой. Выемка пробы производится двумя рабочими, из которых один вдавливает цилиндр, а другой удаляет грунт вокруг цилиндра. Пробы достаточно плотных грунтов вырезаются в виде монолитов размером $15 \times 15 \times 10$ см³ не реже, чем через 1 м по глубине выработки.

Отбор проб с ненарушенной структурой глинистых и песчаных грунтов из буровых скважин вызывает целый ряд трудностей. Из всех видов бурения только вращательное колонковое (стр. 265—266) дает возможность получать керны с ненарушенной структурой. Однако, породы более слабые, чем плотные или пластичные глины, керны обычно не дают. Для получения ненарушенных проб этих грунтов сконструированы различные грунтоносы, большинство которых представляет собой железные или стальные трубы, раскрывающиеся на две части (рис. 209). Для удержания грунта в грунтоносе, в нижнем конце трубы имеется керноразъемник, который состоит из стальных пластин, как это

видно на рис. 209. Погружается грунтонос в забой скважины задавливанием с помощью гидравлического домкрата или загоняется ударами с обыкновенного бурового копра, что нежелательно. Вращение грунтоноса при его погружении в рыхлые грунты следует избегать, так как при этом происходит заметное перемещение частиц грунта относительно друг друга, т. е. нарушается структура. В последнее время в ответственных случаях скважины в слабых грунтах на всю глубину проходят грунтоносами, получая таким образом непрерывно ненарушенные пробы грунта.

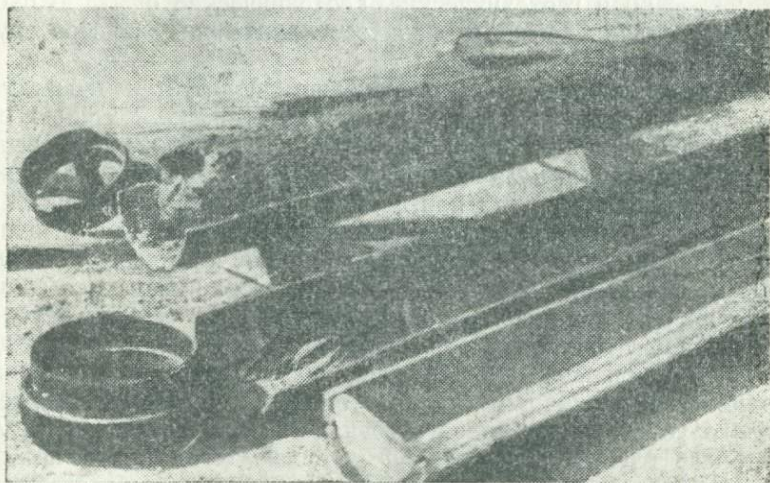


Рис. 209. Раскрытый грунтонос.

В случае однородного строения и большой мощности пластов, образцы грунта отбираются не реже, чем через каждые 0,5 м, пробы же для исследования берутся при появлении каких-либо факторов, которые могут оказать влияние на физико-механические свойства грунта. При мощности слоев меньше 0,5 м образцы должны быть взяты из каждого слоя, а пробы из наиболее характерных из них. В пределах заложения фундамента пробы на влажность желательно брать как можно чаще, чтобы иметь возможность проследить изменение влажности грунта с глубиной. Во избежание быстрого высыхания, пробы на влажность берутся в специальные стеклянные или алюминиевые стаканчики с притертыми пробками, называемые б ю к с а м и.

При бурении для инженерно-геологических целей очень важно точно и своевременно документировать не только геологические и гидрогеологические элементы, но также сопротивляемость грунта бурению, так как она дает косвенную характеристику

прочности проходимой породы. Учитывать трудность, с которой проходится грунт, можно по виду бурового инструмента (буровая ложка, змеевик, долото, желонка и пр.), по скорости чистого бурения и т. п. Это делает особенно важным возможно полное описание в буровом журнале процесса бурения, выполняемого в инженерно-геологических целях. Хорошим показателем изменения грунта с глубиной служат также процент выхода керна при колонковом вращательном бурении.

Опытные работы. Опытные работы при инженерно-геологических исследованиях для технического проекта принимают максимальные масштабы. Они подразделяются на гидрогеологические (стр. 292—302) и геотехнические. Геотехнические опытные работы имеют задачей выявить физико-механические свойства грунтов¹ в естественных условиях.

Наиболее широким распространением пользуется испытание грунта пробными нагрузками. С помощью его устанавливаются податливость грунта под нагрузкой, т. е. выясняют: а) характер и величину осадки в зависимости от нагрузки, б) характер осадки грунта при данной нагрузке в зависимости от времени и в) влияние увеличения влажности грунта на величину осадки фундамента, полученную при данной нагрузке на грунт.

Опыт пробными нагрузками выполняется путем испытания грунта на отметке подошвы фундамента. При мелких заложениях фундаментов пользуются способом, при котором на дне опытного котлована или шурфа соответствующей глубины устраивается кирпичная кладка — опытный фундамент, поверх которого устанавливается загрузочная платформа (рис. 210, А). При более глубоком положении подошвы фундамента пользуются квадратными или круглыми чугунными или железобетонными штампами разных размеров. Груз помещается в специальной платформе над устьем шурфа, а нагрузка (рис. 210, Б) на штамп передается с помощью вертикального столба. Осадки измеряются с помощью двух реек, опирающихся на штампы, или с помощью более точных измерительных приборов. На основании систематических измерений составляется график, дающий полную картину погружения штампа во время опыта. Кривая зависимости погружения штампа от нагрузки обычно сначала полого погружается, а затем резко начинает опускаться, образуя отчетливо вырисовывающуюся точку перегиба. Этому моменту соответствует начало разрушения грунта; вызвавшая его нагрузка называется критической. В дальнейшем штамп погружается гораздо быстрее, вокруг него наблюдается выпирание грунта или образование видимых наглаз трещин, что указывает на полное разрушение грунта. Число испытаний грунта пробными нагрузками зависит от типа и ответственности соору-

¹ Под грунтом понимается всякая горная порода в сфере воздействия инженерного сооружения, а также как объект инженерного мероприятия.

жения и от выдержанности геотехнических свойств грунта в горизонтальном направлении.

Если возможно насыщение грунта в основании сооружения вследствие подъема зеркала подземных вод или от попадания поверхностных вод, то производят опыты с искусственным за-

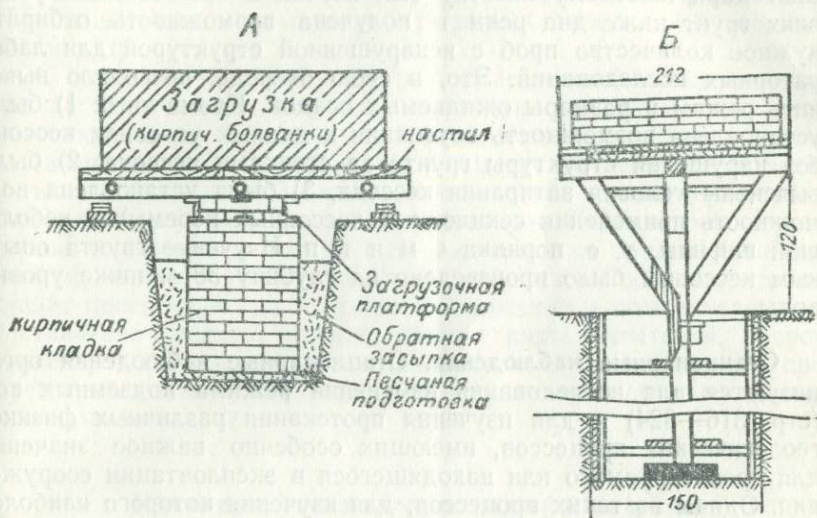


Рис. 210. Схемы испытания грунта пробными нагрузками: А — способ опытного фундамента, Б — способ штампа.

мачиванием. Такие опыты совершенно необходимы для лессов и макропористых лессовидных суглинков, которые при увлажнении теряют свою структуру и дают осадки катастрофических размеров.

Полученные в результате пробных нагрузок осадки не соответствуют полностью тем, которые будут иметь место в основании сооружения. Объясняется это тем, что осадка зависит не только от нагрузки, но также от размеров загруженной площади и ее периметра. За допускаемую нагрузку на грунт принимается критическая нагрузка, уменьшенная на коэффициент запаса прочности, который берется в зависимости от ответственности сооружения и его конструкции.

При исследовании несущих средств слабых грунтов иногда производят забивку пробных свай. Такое испытание имеет смысл, если забивка пробной сваи производится так же, как будет производиться забивка постоянных свай.

Иногда, при особенно сложных и трудных условиях строительства, прибегают к специальным, сравнительно сложным и

дорого стоящим опытным работам, как, например, испытания с помощью опытного кессона. Такой опытный кессон был применен в 1934/35 г. при исследованиях под Ярославскую гидроэлектростанцию на р. Волге. Этот опыт дал строительству целый ряд инженерно-геологических и чисто технических данных, которые во много раз окупили произведенные расходы. Благодаря опытному кессону был изучен в естественных условиях грунт ниже дна реки и получена возможность отбирать нужное количество проб с ненарушенной структурой для лабораторных исследований. Это, в свою очередь, позволило выяснить режим и размеры ожидаемых осадков. Кроме того: 1) была установлена возможность опускания в данных условиях кессона без нарушения структуры грунта за стенками кессона, 2) были выяснены условия затирания кессона, 3) была установлена возможность применения секционных кессонных перемычек небольшой ширины, т. е. порядка 4 м и т. п. Изучение грунта опытным кессоном было произведено на глубину 38 м ниже уровня воды.

Стационарные наблюдения. Стационарные наблюдения организуются для исследования изменений режима подземных вод (стр. 316—324) и для изучения протекания различных физико-геологических процессов, имеющих особенно важное значение для проектируемого или находящегося в эксплуатации сооружения. Одним из таких процессов, для изучения которого наиболее часто прибегают к стационарным наблюдениям, является оползание склонов. Стационарными наблюдениями удается выяснить скорость и направление сползания грунтовых массивов, находящихся в более или менее постоянном движении. Для этого на исследуемом косогоре устанавливаются реперы, вертикальное и горизонтальное положение которых систематически фиксируется методом засечек с определенных неподвижных точек, расположенных за пределами оползня. Кроме того, определяется ход роста трещин на оползающем склоне. Это достигается установкой поперек трещин специальных маяков, которые состоят из двух стоек, вбитых по разные стороны трещины, и перекладины между ними. Если трещины образуются в зданиях, выстроенных на оползающем склоне, то на них укрепляются марки из типа или стеклянные пластинки. После разрыва каждая марка заменяется новой, а время разрыва отмечается в специальном журнале.

Лабораторные исследования. Лабораторные исследования имеют при инженерно-геологических работах исключительное значение. Наибольшего масштаба они достигают во время исследований для технического проекта, когда на больших стройках организуются даже собственные химические и инженерно-геологические лаборатории. Первые имеют целью производство химических анализов воды, а задачей вторых является выяснение фи-

зико-механических свойств грунтов, как в естественных условиях, так и в условиях строительства.

Главнейшими испытаниями грунтов в лабораториях являются определения: 1) гранулометрического состава грунтов (стр. 302—303), 2) удельного веса, 3) объемного веса, 4) пористости (стр. 68), 5) влажности, 6) зависимости влажности от давления, 7) трения и сцепления, 8) влагоемкости, 9) коэффициента фильтрации, 10) капиллярного поднятия, 11) размокаемости, 12) пластичности и др.¹

С помощью этих лабораторных исследований и полевых опытов проектировщики получают цифровую характеристику механических свойств грунтов и свойств их в отношении воды. Нужно не забывать, что в каждом отдельном случае необходимо выбирать цикл испытаний в строгом соответствии с инженерно-геологическими условиями и типом сооружения. Недостаточное количество испытаний может лишить возможности прийти к определенному конкретному решению того или иного вопроса, что поставит проектирующих в тяжелое положение и может задержать составление проекта. Однако, лишние виды испытаний, в свою очередь, являются ненужным балластом, увеличивающим продолжительность и общую стоимость инженерно-геологических исследований.

Инженерно-геологические карты и разрезы

В результате инженерно-геологических исследований накапливается сложный комплекс разнородных данных, которые находятся во взаимной связи. Однако эту зависимость можно установить часто только на основании внимательного анализа отдельных явлений и последующего рассмотрения и сопоставления всех их одновременно, т. е. синтеза всех накопившихся материалов. Метод графического изображения является одним из самых сильных и пользуется заслуженным признанием. Представление результатов геологических исследований в виде геологических карт и разрезов настолько вошло в практику геологической службы, что без них нелегко говорить о результатах работ. Не менее важно изобразить в виде инженерно-геологических карт и разрезов весь комплекс данных, имеющих значение для инженерного дела. Большое число и разнообразие этих данных, в которые входят результаты геологических, геоморфологических, литологических, гидрогеологических, геотехнических и других специальных исследований, делает почти невозможным изобра-

¹ Теоретическое обоснование испытаний грунтов и описание опытов составляют предмет грунтоведения и механики грунтов и приведены в соответствующем отделе курса «Основания и фундаменты».

геологических карт, под которыми понимают карты, отображающие распределение одного, нескольких или даже целого комплекса факторов, изученных во время инженерно-геологических исследований. Понятно, что чем больший комплекс инженерно-геологических факторов найдет свое изображение на карте определенного масштаба, тем она будет совершеннее.

Все инженерно-геологические карты подразделяются на общие и специальные. На общих картах стремятся осветить общие инженерно-геологические условия местности независимо от типа строительства, используя для выделения отдельных районов комплекс наиболее характерных для данной территории инженерно-геологических факторов. Примером общей инженерно-геологической карты мелкого масштаба, составленной по комплексному признаку, может служить инженерно-геологическая карта Ленинградской, Новгородской и Псковской областей в масштабе 1 : 5 000 000 (рис. 211). На основании геоморфологического строения, литологического состава пород и их генезиса, на карте выделено шесть районов, каждый из которых характеризуется свойственными только ему инженерно-геологическими условиями. Естественно, что такие карты дают только самое общее представление об условиях строительства в каждом выделенном на них районе. Тем не менее вместе с объяснительной запиской общие инженерно-геологические карты представляют ценный материал для первого ориентировочного предварительного суждения и могут быть использованы независимо от типа строительства.

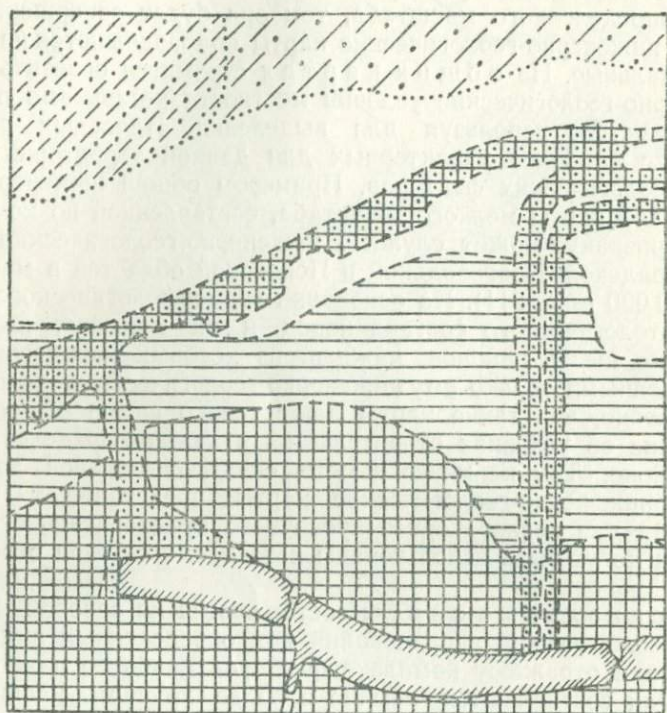
Специальные карты составляются на основании инженерно-геологических исследований под определенный вид строительства и отражают комплекс факторов наиболее важных для него. Они составляются обычно в более крупном масштабе и основаны на большем количестве фактического материала, чем общие карты. В наиболее детальных из них дается не только относительная характеристика отдельных участков, но приводятся количественные показатели, позволяющие с максимальной четкостью ответить на наиболее конкретные для данного типа сооружений вопросы.

Степень детальности специальных инженерно-геологических карт для отдельных строителей будет в то же время находиться в зависимости от требований, предъявляемых данной стадией проектирования.

Хорошим примером специальной инженерно-геологической карты крупного масштаба может служить карта, приведенная на рис. 212. Она составлена в масштабе 1 : 10 000 и дает глубины, на которых можно рассчитывать встретить достаточно плотные для возведения гражданских и промышленных зданий грунты. При составлении карты использована литологическая характеристика грунтов и геоморфологический фактор — совершенно заполненные новейшими наносами древние долины. Так как несущая способность заполняющих грунтов недостаточна,

то с этими погребенными водотоками совпадают максимальные глубины залегания плотных грунтов (рис. 212).

Так как в настоящее время еще не выработаны твердые установки для составления инженерно-геологических карт, то ка-



Глубины залегания от поверхности устойчивых грунтов

0-2 м

2-4 м

4-6 м

6-10 м и глубже

----- Граница глубин

Литологический состав устойчивых грунтов

Песок и гравий

Глинистый песок

Глина

Заполненные древние водотоки

..... Граница пород

0 100 200 300 400 500 м

Рис. 212. Инженерно-геологическая карта.

чество их в каждом отдельном случае зависит в значительной мере от умения составителя дать в легко читаемой форме самое существенное для данного сооружения или вида сооружений. Необходимость учитывать влияние большого комплекса разно-

родных факторов требует каждый раз от автора карты большого опыта и знаний.

Инженерно-геологические разрезы отличаются от геологических тем, что на них кроме возраста, всегда наносится литологический состав грунтов и находят отражение главнейшие гидрогеологические и геотехнические свойства. При закономерном изменении их с глубиной, они могут быть показаны кривыми; так, например, изменение влажности грунтов с глубиной может быть изображено кривыми одинаковой влажности, а объемный вес скелета грунта — кривыми равного объемного веса (рис. 213). Из рисунка видно, что влажность песков уменьшается, а затем

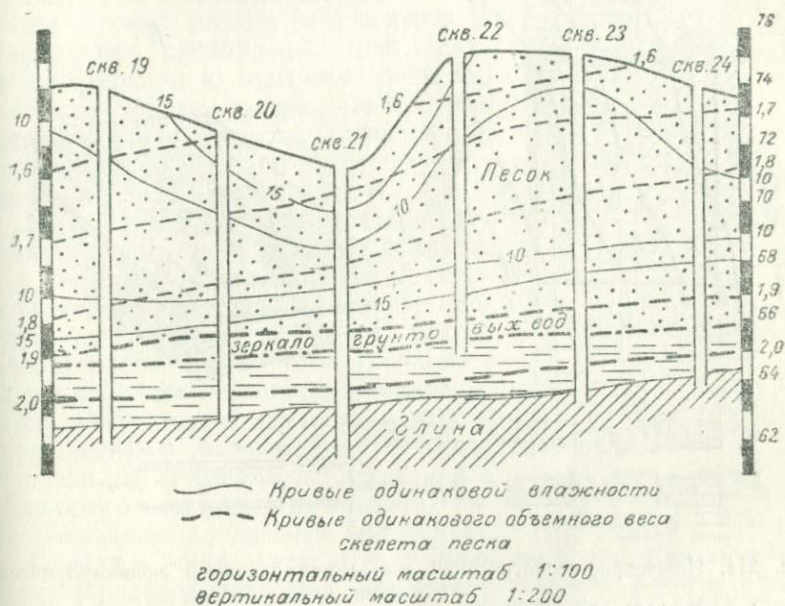


Рис. 213. Инженерно-геологический разрез.

при приближении к уровню подземных вод снова начинает увеличиваться. Таким образом на разрезе наглядно выступает зависимость влажности грунта от поверхности увлажнения и от капиллярного поднятия выше зеркала подземных вод. Кривые равного объемного веса указывают на закономерное увеличение плотности песка с глубиной.

Если разрез сечет серию пород, резко различающихся по литолого-петрографическому составу и геотехническим свойствам, состав пород можно изображать штриховкой, а свойства — красками, или можно воспользоваться двойной штриховкой. В последнем случае разрез теряет в ясности и требует большого внимания при его чтении. То же относится и к инженерно-геологическим картам, изображенным двойной штриховкой, которые

не стилизуются наглядностью и читаются только с некоторым напряжением (рис. 212).

Для наглядного изображения инженерно-геологических условий на строительных площадках или под сооружениями пользуются так называемыми аксонометрическими проекциями. Для этого строят параллелограмм $abcd$, представляющий собой горизонтальное сечение на определенной высоте, длина сторон которого дает в масштабе длину стен сооружения или границ площадки (рис. 214, Б). В каждом углу проводят вертикальные линии, высота которых над точками a , b , c и d соответствует пре-

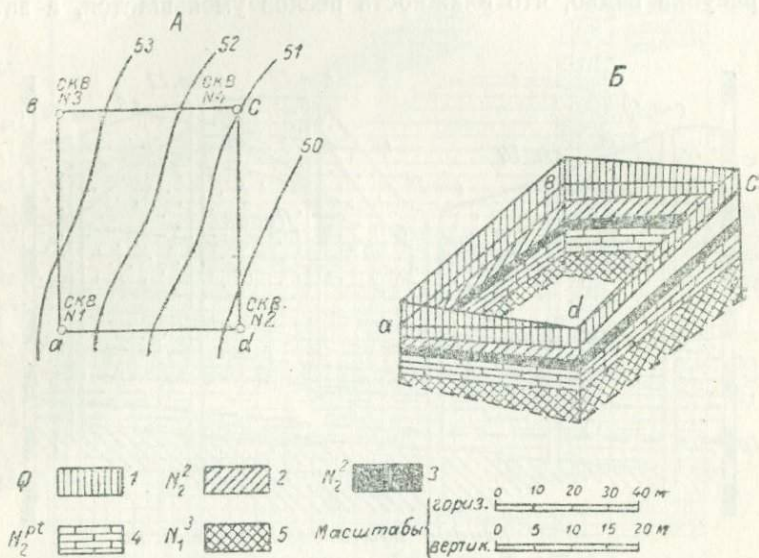


Рис. 214. Инженерно-геологический разрез под здание в аксонометрической проекции:

1 — лесс (Q); 2 — красноватая глина (N_2^2); 3 — темносая глина (N_2^3); 4 — известняк (N_2^{pt}); 5 — глина серая (N_1^3).

вышению устьев скважин над принятой для сечения $abcd$ абсолютной или относительной высотой (рис. 214, А и Б). На этих линиях откладывают в принятом вертикальном масштабе слои пластов, вскрытые скважинами, пройденными под углами сооружения. То же делается в соответствующих точках сторон параллелограмма, если скважины были пробурены и по периметру сооружения. После этого разрез по каждой стенке составляется как обычно, а сочетание всех четырех разрезов дает ясное изображение инженерно-геологических условий под всем сооружением (рис. 214, Б).

При составлении инженерно-геологических колонок по отдельным выработкам, рядом с литологическим разрезом строят графики, изображающие изменение с глубиной отдельных фи-

зико-технических свойств грунтов, как например, естественная влажность и нижняя и верхняя границы пластичности (рис. 215). Также графически может быть представлено изменение с глубиной выхода керна при колонковом бурении и т. п.

Инженерно-геологический отчет

Весь комплекс исследований, проведенных для выяснения инженерно-геологических условий, находит свое отражение в инженерно-геологическом отчете. Отчет состоит из записки и графических приложений: карт, разрезов, графиков и диаграмм. Записка, в свою очередь, подразделяется на введение, общую часть, специальную часть и заключение, т. е. оценку инженерно-геологических условий.

Во введении дается краткое народно-хозяйственное значение объекта, под который производились исследования, стадия проектирования, программное задание и объем выполненных работ. Кроме того, сообщаются основные организационные моменты, т. е.: 1) по чьему заданию и каким учреждением выполнялись работы, 2) сроки, 3) стоимость исследований и 4) какими ответственными исполнителями выполнялись отдельные виды работ.

Первая — общая часть отчета включает: 1) географическое положение, 2) рельеф, и гидрографию района, 3) краткую характеристику климата, метеорологических условий, почв, растительности и гидрологии, 4) геологический очерк (стратиграфия, литология и тектоника), 5) геоморфологию, 6) гидрологию и 7) местные каменные строительные материалы и полезные ископаемые.

Во второй — специальной части приводится методика специальных исследовательских работ и описываются опытные работы и наблюдения. Результаты гидрогеологических, геотехнических и инженерно-геологических полевых опытов оформляются в виде сводных таблиц, графиков и пояснений к ним. В таком же виде приводятся результаты лабораторных исследований.

Последним отделом отчета является заключение, т. е. оценка инженерно-геологических условий на месте строительства. Это

например, естественная влажность и нижняя и верхняя границы пластичности (рис. 215).

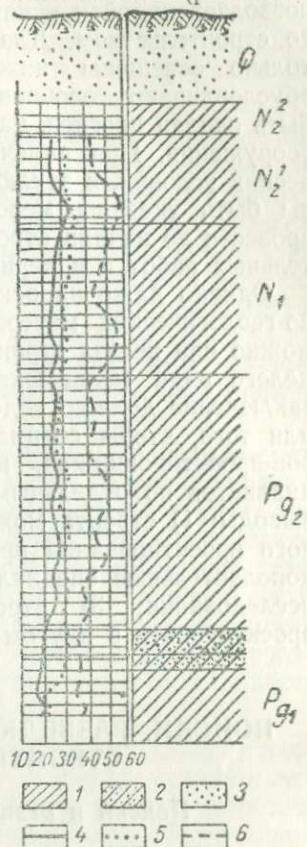


Рис. 215. Инженерно-геологическая колонка буровой скважины: 1 — глина; 2 — песчаная глина; 3 — песок; 4 — естественная влажность; 5 — нижняя граница пластичности; 6 — верхняя граница пластичности.

самая ответственная часть отчета, в которой приводятся только основные наиболее характерные данные, сопоставление которых позволяет подойти к конкретному решению вопросов, связанных со строительством. Для этого в заключении должны быть не только освещены инженерно-геологические условия, которые обуславливают особенности строительства, но также должен быть сделан прогноз, какие изменения в них вызовет возведение сооружения. При наличии неблагоприятных инженерно-геологических условий, в заключении с исчерпывающей полнотой должны быть указаны мероприятия и их объем, которые нужно провести до начала строительства, во время производства строительных работ и в период эксплуатации.

Однако даже на основании самых исчерпывающих инженерно-геологических материалов не всегда можно решить вопрос можно или нельзя строить, так как решение его зависит еще от целого ряда технических и экономических моментов. Поэтому заключение должно содержать в себе все данные, необходимые для того, чтобы специальная экспертная комиссия из инженеров-проектировщиков, инженеров-геологов, экономистов и специалистов по отдельным вопросам могла сделать определенные выводы: 1) строить можно; 2) строить можно, но для правильного проектирования профилактических мер нужно произвести дополнительные специальные более подробные и углубленные исследования; 3) строить нельзя — сооружение необходимо проектировать в другом месте.

Глава VIII

ПОИСКИ, РАЗВЕДКА И ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Поиски и разведка строительных материалов

Поиски и разведка месторождений строительных материалов являются неотъемлемой частью инженерно-геологических исследований под сооружения любого типа. Возможность обеспечения строительства местными строительными материалами требуемого качества резко снижает его стоимость. Отсутствие в районе стройки строительных материалов, которые бы удовлетворяли техническим условиям, вынуждает подвозить их из месторождений, расположенных часто на огромных расстояниях. Например, при сооружении Днепростроя крупный песок для бетона подвозили на расстоянии свыше 400 км из карьеров, находящихся у Евпатории, так как месторождений песка требуемого качества в нужном количестве вблизи строительства найдено не было.

Вид местных строительных материалов часто имеет влияние при выборе типа гидротехнического сооружения. Так, например, в зависимости от имеющихся строительных материалов, может быть запроектирована земляная, из каменной наброски или бетонная плотина.

Для гидротехнического строительства требуются почти все виды естественных строительных материалов, а именно: камень, галька, гравий, суглинок и глина. Отсутствие или наличие их является одним из важнейших инженерно-геологических условий, которое определяет, кроме типа сооружения, организацию строительных работ и стоимость всего строительства.

Поиски естественных строительных материалов имеют целью обнаружить их месторождение и определить, заслуживает ли оно по своим вероятным запасам и по качеству сырья постановки разведочных работ. Для этой цели в хорошо изученных в геологическом отношении областях могут быть использованы специальные обзорные карты строительных материалов. На этих картах условными значками обозначены все известные месторождения строительных материалов, как разрабатываемые, так и обнаруженные при общих геологических съемках, но в эксплуатацию не поступившие. Степень детальности таких карт зависит от их масштаба и изученности района.

Если расположенные вблизи строительства разрабатываемые, а также заброшенные карьеры и каменоломни не удовлетворяют его потребностей, то необходимо организовать поиски новых месторождений. В этом случае первые указания, как и где искать, дают геологические карты коренных пород и четвертичных отложений, а также морфологические особенности строения местности. При наличии литологических карт задача поисков заметно облегчается. С помощью геологических карт в первую очередь необходимо установить, находится ли строительство в области развития ледниковых стложений или вне его.

В областях с мощным ледниковым покровом получить строительные материалы из коренных пород удастся сравнительно редко, так как выходы их на поверхность можно встретить только в крутых склонах глубоких речных долин. Источником строительного камня в этом случае могут являться, как правило, валуны, скопления которых приурочены обычно к конечным моренам и в меньшем количестве к донным. В конечных моренах можно также рассчитывать обнаружить месторождения гравия и крупных песков. Таким образом, поиски этих материалов следует направлять в области развития конечных морен, которые в рельефе бывают выражены в виде гряд или холмистого рельефа. Озовые гряды и камовые холмы, в свою очередь, являются теми геоморфологическими элементами ледникового ландшафта, которые содержат месторождения хорошего строительного песка и гравия. На равнинах задровых полей часто также можно встретить месторождения песков, удовлетворяющих техническим требованиям. Обширные равнинные пространства озерно-ледниковых отложений дают, как правило, хорошие глины, среди которых для северных областей Европейской части СССР и для Финляндии большое значение имеют ленточные глины. Суглинки в неограниченном количестве поставляют донные мо-

рены, покрывающие огромные водораздельные пространства захваченных древним оледенением территорий. Карты четвертичных отложений, на которых указано распространение основных генетических типов отложений и их литологический состав, дают первые указания, где нужно в первую очередь производить поиски требуемых строительных материалов.

В областях, где ледниковые отложения отсутствуют или имеют незначительную мощность, с помощью геологических карт устанавливаются изверженные или осадочные породы, развитые в данном районе. Это дает первое указание на характер строительных материалов, которые можно рассчитывать обнаружить. Если на данной территории распространены осадочные породы, то хотя на карте они нанесены по возрастному признаку, она все же дает возможность примерно определить их литологический состав, так как отложения того или иного возраста состоят обычно из пород определенного петрографического состава. Так, например, в силурийских породах Ленинградской области преобладают известняки, а в девонских — песчаники, известняки и мергели.

Здесь так же, как и в областях с мощным четвертичным покровом, при обследовании в поле приходят на помощь геоморфологические признаки. В районах, где отсутствует мощный четвертичный покров, положительные формы рельефа сложены трудно выветривающимися твердыми горными породами, какими является большинство изверженных и метаморфических пород, а также известняки и песчаники среди осадочных. При горизонтальном залегании они образуют плато и холмы с крутыми склонами, а при нарушенном — горные цепи и гряды. Твердые горные породы образуют также обрывы в речных долинах и возвышенности на водоразделах. Таким образом, поиски строительного камня в этих геоморфологических условиях надо производить на возвышенностях, а не в речных долинах, где более всего вероятны месторождения гравия и песка. Так как гидрографическая сеть с течением времени меняется, то скопления обломочного строительного материала можно обнаружить также в сухих в настоящее время долинах. Значительные месторождения глины и суглинков можно обнаружить на пологих склонах речных долин; суглинки, кроме того, в больших количествах скапливаются в устьях рек. Залежи суглинков в делювиальных отложениях встречаются спорадически и не выдерживаются, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

Свежая совершенно невыветрелая горная порода очень редко выходит на поверхность. Обычно она прикрыта элювием и наносами, которые в зависимости от их мощности, проходят канавами или мелкими буровыми скважинами. При поисках проходят только отдельные выработки, задачей которых является определить глубину, на которой залегают невыветрелая порода, наметить примерную площадь ее распространения, установить наличие или отсутствие подземных вод и взять отдельные пробы для лабораторных испытаний.

При благоприятных результатах поисков, на месторождении проводятся детальные геолого-разведочные работы, в результате которых должны быть получены все данные, необходимые для оценки месторождения и проектирования его разработки. Для этой цели проходят разведочные выработки в расстоянии 50—200 м одна от другой, задавая их по правильной ромбической или прямоугольной сетке. Расстояния между отдельными выработками принимаются в зависимости от степени выдержанности разведываемой горной породы. Так как отдельные слои в месторождениях галечников, гравия и песка, расположенных в речных долинах, быстро меняются по мощности и по простираанию, то при разведке этих месторождений требуется очень частая сеть скважин ручного бурения.

Глубина выработки должна быть достаточной для вскрытия всей толщи разведываемого месторождения до горизонта подсчета загасов. В случае непостоянства мощности вскрыши (наносы и выветрелая часть породы), для уточнения ее залегания проходят дополнительные разведочные выработки, углубляя их только до неизменной породы.

Подсчет запасов строительного материала в месторождениях производится по объему пригодной для эксплуатации части залежи. Вследствие неравномерного распространения валунов в моренах, запасы их подсчитываются на основании средних цифр, полученных при разведке шурфами. При этом определяется коэффициент полезного материала, т. е. отношение объема валунов к остальной породе, слагающей морену. Экономически выгодной добыча валунов из морены считается при коэффициенте полезного материала не меньше $\frac{1}{4}$.

Пробы для испытания качества сырья в лабораториях строительных материалов берут из разведочных выработок. Пробы должны отражать качество месторождения в целом, поэтому они должны быть взяты из всех разновидностей пород, вскрытых в разведочных выработках. Для этого одновременно с отбором проб породы необходимо указать, какую количественную роль она играет в месторождении. Размер проб камня для технического исследования должен быть не менее $25 \times 25 \times 40$ см в случае трех образцов. На пробах необходимо отмечать направление существующих в породе трещин, чтобы их можно было учесть при распиловке камня в лаборатории. При опробовании осадочных пород пробы берутся из каждого слоя, если же состав более или менее однообразен, то для песков берут средние пробы весом 5—10 кг, а для галечников — до 100 кг и более. В прилагаемых к пробам специальных этикетках точно указывается место и время взятия пробы.

Оценка месторождений строительных материалов

На основании данных разведочных работ и лабораторных исследований производят оценку месторождения, т. е. определяют

степень пригодности его для разработки. Ценность месторождения в основном определяется условиями его залегания, запасами и качеством слагающего материала, т. е. его физико-механическими и химическими свойствами.

Условия залегания месторождения. Главнейшими факторами, характеризующими условия залегания месторождений, являются: 1) расстояние от месторождения до строительства, 2) высотное положение по отношению к постройке, 3) мощность вскрыши, 4) характер и форма залегания.

1. Расстояние от месторождения до строительства определяет стоимость доставки камня от места его добычи до места потребления. Стоимость транспорта может быть настолько велика, что иногда приходится отказываться от эксплуатации легко разрабатываемого камня, а предпочесть организацию каменоломни или карьера на месторождении с более трудными условиями добычи, но расположенном значительно ближе.

2. Высотное положение месторождения по отношению к стройке играет существенную роль. Положение карьера на более высоких отметках, чем сооружение, облегчает транспортировку строительного материала. В противном случае камень приходится поднимать вверх, что повышает стоимость перевозки.

3. Мощность вскрыши является одним из решающих факторов при оценке месторождения строительного материала. Минимальную вскрышу имеют месторождения, расположенные на крутых склонах, на пологих же склонах вскрыша может достигать таких размеров, что от разработки карьера приходится отказаться. Установить какие-либо нормы допустимой мощности вскрыши не представляется возможным, так как стоимость ее на 1 м^3 полезного ископаемого зависит также от того, с каким трудом она разрабатывается. При залегании строительного камня на глубине 3—5 м обычно считают, что разработка экономически выгодна, если мощность полезного ископаемого относится к мощности вскрыши, как 2 : 1. При отсутствии месторождений с более благоприятными условиями разработки и высоким качестве строительного материала часто допускают отношение 1 : 1. Чем ценнее добываемый материал, тем допустимо менее благоприятное соотношение мощности вскрыши к мощности строительного материала.

4. Характер и форма залегания строительного материала обуславливают условия разработки и мощность вскрыши. При осадочных породах наиболее благоприятны для эксплуатации горизонтальное залегание или пологое падение пластов. В этом случае мощность вскрыши меняется только в зависимости от изменения рельефа на намеченном к эксплуатации участке. При наклонном падении пластов разработка вверх по падению опасна, так как с этой стороны могут происходить обвалы стенки каменоломни. Особенно опасность будет велика, если добываемый песчаник или известняк разбит трещинами, а пласты его че-

редуются с прослойками глины, по которой легко будет происходить скольжение отдельных глыб в каменоломню (рис. 216). Противоположная стенка будет устойчивой, но при разработке в этом направлении мощность вскрыши быстро возрастает (рис. 216). При расположении каменоломни на склоне и падении пластов внутри косогогоры увеличение мощности вскрыши будет происходить еще быстрее. Самым благоприятным для разработки будет случай, когда падение пласта одинаково с крутизной склона. При этом добыча камня ведется сверху вниз, а мощность вскрыши все время остается постоянной. В случае заложения каменоломни на перегибе антиклинальной складки, наблюдается погружение пластов в обе стороны от оси складки, а камень будет разбит трещинами вследствие растягивающих напряжений, действовавших при образовании антиклинали. Стенки каменоломни, расположенной на оси синклинали, будут неустойчивы, а разработка потребует

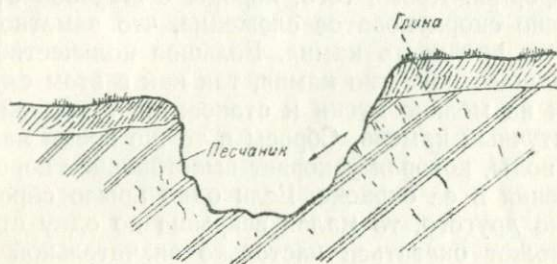


Рис. 216. Каменоломня в крутопадающей толще песчаника с прослойками глины.

принятия специальных мер предосторожности. Самые неблагоприятные условия добычи будут в случае, когда пласты смяты в мелкие складки. При разработке рыхлых строительных материалов, как песок, гравий и т. д., особенно нежелательно линзовидное залегание, так как в этом случае к периферическим частям залежи одновременно происходит уменьшение мощности полезного ископаемого и увеличение вскрыши. В то же время разработку приходится вести несколькими небольшими карьерами, что усложняет организацию работ.

Залегание изверженных пород в форме штока самое благоприятное для разработки их на строительный камень. Мощность вскрыши в этом случае зависит исключительно от формы рельефа и характера выветривания разрабатываемой породы. Так как штоки обычно имеют большие размеры и на глубине переходят в батолит, то каменоломни могут занимать любую площадь, а разработка камня вглубь производится до тех пор, пока это экономически выгодно. Покровы и потоки дают залежи ограниченной мощности, которые обычно разрабатываются в каменоломнях небольшой глубины. Закладка каменоломни на вулканических куполах имеет то преимущество, что они в этом случае всегда расположены на положительных формах рельефа и транспор-

тировка камня идет сверху вниз. Наибольшие трудности встречаются при разработке круто, но не вертикально падающих жил небольшой мощности.

Трещиноватость является одним из самых существенных факторов при оценке месторождения каменных строительных материалов. При большом расстоянии между трещинами получаются большие блоки породы и облегчается разработка. Однако, во избежание вывалов отдельных глыб, трещины не должны быть наклонены в каменоломню. Форма блоков будет зависеть от направления, под которым пересекаются трещины разных систем. В изверженных породах применимость камня для различных целей определяют формы отдельности: плитняковая, призматическая, столбчатая и т. д. Самой нежелательной является шаровая отдельность, которая дает отдельные блоки неудобной для обработки формы. Кроме того, породы с шаровой отдельностью имеют обычно скорлуповатое сложение, что заметно уменьшает механическую прочность камня. Большое количество сбросовых трещин ухудшает качество камня, так как в этом случае порода разбивается на мелкие куски и становится негодной для разработки на штучный камень. Сбросы в то же время являются проводниками воды, которая ускоряет выветривание породы и вызывает изменения в ее окраске. Если одно крыло сброса опущено относительно другого, то малая вскрыша по одну сторону сбрасывателя может оказаться настолько значительной по другую, что разработка камня становится экономически невыгодной.

Сеть частых трещин снижает прочность камня и уменьшает эффективность взрывных работ. Кроме того, частые трещины снижают качество самого материала и уменьшают область его применения, так как вдоль трещин происходит процесс разложения. Если выветривание вдоль трещин не достигло больших размеров, то разбитый на мелкие куски камень с успехом может быть использован на щебень или мостильный камень. В этом случае густая сеть трещин желательна. Породы, изобилующие волосными трещинами, как правило, непригодны для разработки на строительный камень. Независимо от того, обусловлены волосные трещины структурой камня или образовались в результате горообразовательных процессов, они начинают обнаруживаться при выветривании породы. При увлажнении вдоль волосных трещин наблюдается более темная окраска вследствие поглощения ими большего количества воды; в сухой породе они различны только под микроскопом.

Подземные воды являются фактором, затрудняющим добычу строительных материалов и повышающим ее стоимость. При разработке изверженных пород подземные воды в них встречаются в небольших количествах, но могут обильно насыщать перекрывающие наносы. Месторождения песка, галечников и известняков часто бывают водоносными и обычно разрабатываются только в верхней части, расположенной над зеркалом грунтовых вод. В случае бедности района строительными мате-

риалами, иногда приходится вести разработку ниже уровня подземных вод, прибегая к водоотливу. Количество воды будет зависеть от гидрогеологических условий, которые необходимо подробно выявить во время разведочных работ.

Месторождения песка, гравия и гальки, залегающие ниже зеркала подземных вод, будут давать обильный приток воды. Если же большие скопления песка или галечника залегают среди мощной толщи глинистых пород, то вначале приток воды будет значительный, а потом, когда скопившиеся запасы воды начнут иссякать, поступление воды заметно уменьшится. Более точно размеры ожидаемого притока воды могут быть определены методом опытных откачек. При проектировании водоотлива, кроме расчета мощности водоотливных установок, так же необходимо учитывать, как снижение зеркала подземных вод в карьере скажется на водном режиме прилегающей местности. В результате мощного водоотлива с большой глубины может произойти: 1) понижение уровня воды в колодцах и даже полное их осушение; 2) уменьшение дебита источников до полного их исчезновения; 3) уменьшение урожая полей и 4) повреждение лугов или изменение их растительности. Наглядным примером может служить каменоломня по разработке трасса около Круфта в Рейнской области. Трасс разрабатывается здесь на 20 м ниже зеркала подземных вод и в 1 минуту приходится выкачивать 14 м³ воды, при этом все колодцы местечка Круфта высыхают. Осенью работы в каменоломне останавливаются и через 2 недели карьер заполняется водой доверху, а в колодцах восстанавливается нормальный уровень. Весной, после 3-недельной работы насосов, каменоломни осушаются, а неуглубленные колодцы снова остаются без воды.

Качество строительного материала. Качество естественных каменных строительных материалов зависит от минералогического состава, структуры, текстуры и степени выветрелости горной породы. Характеризуется оно рядом цифровых показателей, получаемых при соответствующих лабораторных испытаниях. Для горных пород, которые чаще всего используются в качестве строительных материалов, могут быть выделены главные положительные и отрицательные признаки в отношении минералогического состава, структуры и степени выветрелости.

Для изверженных пород гранитной группы (граниты, гнейсы и кварцевые порфиры) положительными признаками будут: 1) равномерная мелкозернистая или среднезернистая структура; 2) высокое содержание кварца, небольшое количество слюды и отсутствие пирита (серного колчедана), 3) свежесть полевого шпата. В наиболее прочных разновидностях гранита кварцевые зерна связаны между собой, а в более слабых рассеяны среди кристаллов полевого шпата, который является главным минералом породы. Параллелепipedальная или плитняковая отдельности при редком расположении трещин также являются положительными признаками.

К отрицательным признакам относятся: 1) неравномернозернистая крупнокристаллическая структура, 2) малое содержание кварца, большое количество слюды и наличие пирита, 3) выветренность полевого шпата, 4) неправильно полиэдрическая или шапровая отдельность. Для гнейсов присоединяются невыгодные особенности гнейсовой текстуры, а для кварцевых порфиров — порфировой структуры. Чем меньше в гнейсах выражена сланцеватость и чем мелкозернистее основная масса кварцевых порфиров, тем большей механической прочностью они обладают.

Темные полевошпатовые породы: габбро, габбро-диабазы и базальты будут обладать наибольшей прочностью при мелкокристаллической структуре, при высоком содержании пироксенов (авгит) и амфиболов (роговая обманка) и небольшом количестве оливина. Отсутствие следов разложения полевых шпатов и темных минералов свидетельствует о свежести породы. Хорошая призматическая или столбчатая отдельность повышает ценность породы как строительного камня.

Для кровельных сланцев положительными признаками служат серовато-черная или синевато-черная окраска с серебристым отливом на плоскостях сланцеватости. Матовая черная окраска указывает на большое содержание битуминозных веществ, что снижает качество сланцев. Значительная твердость и резкий звук при ударе говорят о благоприятном минералогическом составе сланцев.

Очень высокими строительными качествами отличаются мраморы, известняки и доломиты мелкозернистой структуры и плотной текстуры, дающие более или менее блестящую тоннокристаллическую поверхность излома. Неблагоприятным признаком является присутствие в них пирита, особенно мелкорассеянного, который придает породе серую или синеватую окраску.

Песчаники, состоящие из кварцевых зерен, сцементированных кремнистым цементом, отличаются высокой механической прочностью. При уменьшении процентного содержания кварцевых зерен качество песчаника снижается. Замена кремнистого цемента карбонатным, глинистым или железистым настолько ухудшает качество песчаника, что он может стать совершенно непригодным для строительных целей.

Качество рыхлого строительного материала, как гравий и песок, зависит от гранулометрического состава и количества загрязняющих его глинистых примесей. Чем однороднее состав песка или гравия, тем более ценным строительным материалом он является.

Своеобразным строительным камнем, пользующимся широкой популярностью в областях распространения древних оледенений, являются валуны. По петрографическому составу они представляют собой довольно разнообразный материал. Наряду с валунами изверженных пород, перенесенных на огромные расстояния, встречаются валуны сравнительно менее прочных местных осадочных пород, как известняки, доломиты, песчаники и др. При

оценке валунов большую роль играет степень их выветрелости. Камень, который начинает рассыпаться в дресву или имеет резко выраженную кору выветривания, утратившую свою первоначальную прочность, как строительный материал не допускается. То же относится к трещиноватым валунам.

Для получения количественных показателей качества породы как строительного материала, взятые пробы, кроме тщательного исследования в шлифах под микроскопом, подвергаются большому числу испытаний. Главнейшими из них являются: 1) определение объемного веса и пористости, 2) определение водопоглощения, 3) испытание окрашиванием, 4) определение сопротивления на сжатие, растяжение, изгиб и срезывание или скальвание, 5) испытание твердости и изнашивания, 6) определение размягчаемости, 7) определение морозостойкости (стр. 122—123), 8) определение сопротивления климатическим условиям (погодостойкость)¹.

Оценка строительных материалов в зависимости от их назначения. Пригодность той или иной породы для использования в качестве строительного материала определяется не только ее технологическими свойствами, но и теми условиями, в которых должно работать сооружение, на возведение которого она используется. Если же порода употребляется в качестве сырья для производства бетона, кирпича и т. п., то пригодность ее зависит также и от назначения.

Строительные камни, используемые для кладки фундаментов под гражданские сооружения, должны выдерживать значительные нагрузки. В то же время, они должны мало поддаваться воздействию химических агентов, быть нерастворимыми и, по возможности, непористыми. Таким образом в данном случае породы необходимо испытывать на сопротивление сжатию, размягчаемость, пористость, морозостойкость, растворимость и сопротивление химическим агентам. Следовательно, для фундаментной кладки более всего пригодны плотные изверженные породы, а также песчаники и конгломераты с кремнистым цементом. При заложении фундамента выше зеркала грунтовых вод могут применяться также известняки.

Породы, предназначенные для возведения наружных стен, должны обладать соответствующим сопротивлением на сжатие, быть морозостойкими, не проводить тепло и быть проницаемыми для воздуха. На облицовку стен пригодны породы без трещин, имеющие красивую окраску и хорошо полирующиеся. Для этой цели непригодны породы с затронутыми выветриванием полевыми шпатами, оливином или змеевиком, так как они быстро теряют свой блеск. Особенно вреден пирит, который не только дает вредную серную кислоту, но и образует ржавые пятна.

Особенностью гидротехнических сооружений является то, что они постоянно соприкасаются с водой. Это приводит к заполнению

¹ Изучение методов проведения этих и других испытаний каменных строительных материалов составляет предмет курса «Строительные материалы» и здесь не рассматривается.

пор в строительном камне водой, что делает породу менее морозостойкой и создает условия, при которых может интенсивно проявляться растворяющее и размывающее воздействие воды. Следовательно, основными испытаниями при определении пригодности пород для гидротехнического сооружения будет определение морозостойкости, размягчаемости и растворимости в воде соответствующего химического состава. При сооружении плотин необходимо также учитывать воздействие воды под повышенным давлением.

Породы, в которых полевои шпат сравнительно легко царапается ножом, непригодны для гидротехнических сооружений. Для них применимы только совершенно свежие плотные интрузивные породы, песчаники и конгломераты с кремнистым цементом и плотные массивные известняки. Последние, вследствие их растворимости, употреблять там, где вода находится под большим давлением (плотины), не желательно. Для массивных стен лучше всего использовать обладающие большим объемным весом основные изверженные породы, как габбро, диабазы и базальты.

С точки зрения сопротивления давлению, в качестве присадочного бетонного материала пригодны все свежие изверженные и плотно сложенные осадочные породы. Не могут быть использованы для этой цели породы, содержащие пирит, гипс, уголь, масла, гумусовые вещества и золу, так как эти примеси вредны для бетона. Равным образом для бетона непригодны размягчающиеся в воде глинистые или сильно выветрелые породы. Очень пористые породы нежелательны, так как они в большом количестве стгимают от бетона воду, задерживая тем самым его затвердевание. При отсутствии более плотного материала, щебень из пористых пород необходимо пропитать водою до замешивания бетона.

Так как кварц при нагревании в огне легко трескается, то при изготовлении огнестойкого бетона следует избегать щебня из горных пород богатых кварцем. Самыми стойкими в этом отношении являются базальты и трахиты.

Если для бетона вместо щебня употребляется галечник, то для хорошего схватывания бетонной массы необходимо, чтобы поверхность галек была шероховатой. Если в галечнике в большом количестве встречается известковая галька, отдельные куски которой растираются между пальцами, то такой галечник считается непригодным для бетонных работ.

Гравий для бетона должен состоять из плохо окатанных зерен различных диаметров в пределах от 2 до 7 мм и иметь высокий объемный вес. Глинистый и тонкозернистый песок, как, например, дюнный, неприменим. Гравий часто встречается совместно с галькой в древних и современных речных долинах, образуя гравийно-галечниковые месторождения. Этот гравийно-галечниковый материал часто пригоден в бетон без предварительной сортировки просеиванием на ситах. Иногда в речных долинах место-

рождения галечника и гравия без всякой закономерности сменяют друг друга.

Древса из каменсломен мало пригодна для бетона, так как она обычно покрыта тонкой пылью и глинистыми частицами, мелкий же щебень (7—20 мм в диаметре) после промывки является прекрасной добавкой в бетон.

Большое количество в гравии глинистых примесей препятствует схватыванию и твердению бетона, поэтому при разработке гравия глинистые слои необходимо полностью удалять. Богатые суглинком и глиной наносы, перекрывающие месторождение, так же должно снимать, чтобы не загрязнять ими гравийные и галечниковые залежи. Загрязненный глиной галечник или щебень очищается путем промывки, промывка же гравия экономически невыгодна.

Дробленный шлак доменных печей может применяться в бетон вместо гравия только в крайней нужде. Применять его можно лишь после длительного лежания на открытом воздухе, так как в свежем шлаке образуются кислоты, которые разрушающим образом действуют на бетон и вызывают ржавление арматуры железобетона.

Для придания бетону гидравлических свойств в него добавляют измельченные в порошок трассы и пуццоланы, первые из которых являются плотными, а вторые землястыми разновидностями вулканических туфов.

На изготовление кирпича идут суглинки или тощие глины, которые при высыхании и обжиге меньше уменьшаются в объеме и не так разбиваются трещинами, как жирные глины. Жирная кирпичная глина содержит до 80% глинистых частиц, тощая же — до 60% песка. К очень жирным глинам при производстве кирпича добавляется песок. Содержание в кирпиче до 25% мелких кусочков известняка обычно не снижает качества кирпича, но большие скопления известняка при обжиге переходят в известь, которая при увлажнении увеличивается в объеме, в результате чего кирпич лопаются. Также вредна примесь в кирпиче больших кусков других горных пород, так как они во время обжига увеличиваются в объеме в то время как глина уменьшается. Это приводит при остывании к образованию трещин. До употребления кирпичная глина в течение зимы или лета подвергается воздействию атмосферных агентов, при этом она, вследствие протекающих в ней процессов физического и химического выветривания, становится рыхлой, а при увлажнении пластичной. Степень пластичности глины зависит от разбухающей при увлажнении массы коллоидальных веществ.

Организация разработки месторождений строительных материалов

Добыча строительных материалов обычно производится открытым способом. Подземными способами могут разрабатываться только особенно ценные разновидности строительных камней, так

как при этом способе добычи стоимость добытого кубического метра породы гораздо выше, чем при открытых разработках.

Разработка строительного камня начинается с удаления перекрывающих наносов и элювия (выветрелого слоя), т. е. с вскрышных работ. Если слагающие наносы породы не находят никакого применения, то они сваливаются туда, где не будут мешать раз-

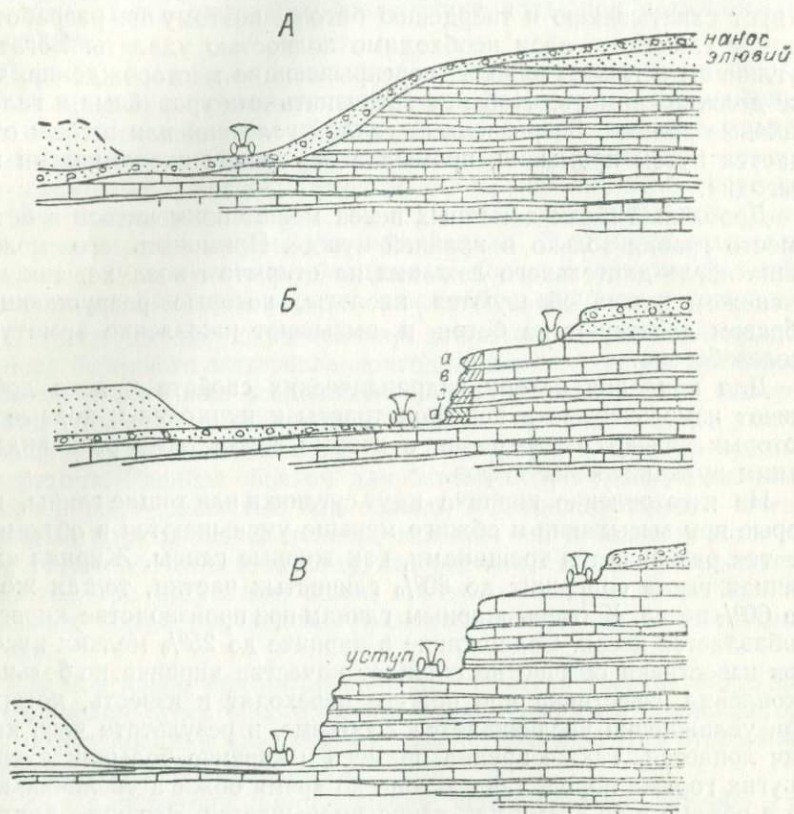


Рис. 217. Разработка строительного камня уступами:
 А — вскрыша, Б — разработка одним уступом, В — разработка двумя уступами.

работке. В дальнейшем отвалы вскрыши могут располагаться на дне каменоломни (рис. 217).

Если вскрыша сложена легко разрабатываемыми породами и ежедневный объем работ не превышает 60—80 м³, то работы ведутся лопатой и киркой, а откатка производится на тачках. При расстоянии, большем 0,25 км, порода отвозится в опрокидных вагонах узкоколейной полевой железной дороги. В случае больших вскрышных работ применяют механическую лопату.

Работы по вскрыше должны всегда идти на несколько метров впереди разработки (рис. 217, Б), что исключает возможность загрязнения разрабатываемой породы.

После того, как подлежащая выемке порода вскрыта на достаточное расстояние, приступают к ее разработке. При этом, в целях безопасности, стенкам котлована придают некоторый наклон, который сохраняется на все время ведения работ. Выемка породы начинается с самого верхнего ряда блоков *a* (рис. 217, Б), после удаления которого последовательно разрабатывают нижележащие ряды *b*, *c* и т. д. Только после того, как будет взят самый нижний ряд *d*, приступают к разработке вновь образовавшейся стены — забоя.

Когда высота забоя достигает 6—8 м, разработку начинают вести двумя уступами (рис. 217, В), причем ширина верхнего уступа должна быть не меньше 4 м, так как в противном случае с рабочими нижнего уступа возможны несчастные случаи. В случае надобности, количество уступов может быть больше двух. Разработка несколькими уступами увеличивает соответственно производительность карьера, что часто имеет очень большое значение.

В целях сохранения неразрушенными блоков добываемого камня, разработку их производят обычно с помощью клиньев, причем влажные породы разрабатываются легче, чем сухие. Если целость камня не имеет существенного значения, то применяют взрывные работы.

Поступление стекающих по косогору поверхностных вод в расположенные на склонах карьеры предотвращается с помощью нагорных канав.

Вследствие неоднородности состава месторождений галечников, гравия, песка и суглинков, при разработке их возникает ряд трудностей, связанных с сортировкой. Кроме того, залежи этих материалов чаще всего встречаются в долинах рек и при подъеме воды в дождливое время часто затопляются. Разработка этих месторождений с успехом может выполняться гидравлическим способом, посредством гидромониторных работ. Возможность одновременной промывки и сортировки материала является большим преимуществом этого метода.

При добыче строительного материала со дна рек пользуются землечерпалками. Если неизбежна одновременная выемка двух слесей, то землечерпалка так оборудуется, что одновременно производится выемка, промывка и сортировка породы. Разработка подводных залежей может вестись также с помощью землесосов.

Часть V

ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОД РАЗЛИЧНЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

При выборе места под любое сооружение необходимо учитывать, что в зависимости от типа сооружения одни и те же геологические факторы будут по-разному влиять на его устойчивость и работу. Особенности геологического строения и геологические процессы, которые для одного типа сооружений могут быть неприемлемы, могут практически не оказывать никакого влияния на устойчивость и бесперебойность работы сооружения другого типа. Так, например, от размеров фильтрации по трещинам в основании плотины, запроектированной на трещиноватых скальных грунтах, зависит решение вопроса, можно ли ее строить, а если можно, то какие мероприятия следует принять для борьбы с утечкой воды. Между тем, при возведении гражданского сооружения любых размеров, этот вопрос практического значения большей частью не имеет. В связи с этим, оценкой инженерно-геологических условий является выяснение, *в какой мере геологические, гидрогеологические и геотехнические условия и факторы будут влиять на устойчивость и нормальный ход работы проектируемого сооружения в зависимости от его конструкции и назначения.*

В то же время должно учитывать, какое влияние проектируемое сооружение окажет на геологические процессы, имевшие место до его возведения. Изменение их в неблагоприятном направлении может оказаться губительным для сооружения, которое было построено на вполне надежном основании.

Таким образом, при оценке инженерно-геологических условий необходим индивидуальный подход к каждому сооружению, в зависимости от его конструктивных особенностей и назначения. Сочетание инженерно-геологических, технических и технико-экономических факторов настолько сложно, что о каких-либо тарифах и стандартах здесь не может быть и речи. Учитывая особенности, свойственные только данному типу сооружений, необходимо предусмотреть, какие инженерно-геологические условия имеют для него существенное значение. Это дает возможность при организации инженерно-геологических исследований обра-

щать главное внимание на те геологические факторы и процессы, которые в данном случае являются самыми важными. В соответствии с этим инженерно-геологические исследования под отдельные типы сооружений принимают свои характерные черты, которые здесь рассматриваются одновременно с оценкой инженерно-геологических условий.

Глава XIX ВОДОХРАНИЛИЩА

Общие сведения

Водоохранилищем называется искусственно созданный бассейн для скопления более или менее значительного количества воды в долине с постоянным или временным водотоком. Водоохранилища создаются обыкновенно подпруживанием рек плотинами и служат для снабжения водой гидроэлектрических станций, судоходных или ирригационных каналов, для водоснабжения городов и т. п. Не менее важное значение водоохранилища имеют для регулирования расхода судоходных рек; они одновременно уменьшают разрушительную силу сезонных паводков и создают запасы воды, которые могут быть с успехом использованы в межень.

Природными водоохранилищами, позволяющими увеличить период навигации, являются расположенные у основания горных хребтов озера, из которых вытекают реки. Лучшим примером естественных водоохранилищ могут служить озера Байкал и Ладожское; первое из них полностью регулирует расход р. Нижней Ангары, а второе — р. Невы. Такую же роль играет цепь Великих озер в жизни р. Св. Лаврентия (Сев. Америка).

При выборе места под водоохранилище, кроме геологического, имеет большое значение геоморфологическое строение речной долины. Так как сооружение водоохранилища связано с возведением плотины, длина которой должна быть возможно меньше, то наиболее желательным местом для водоохранилища будет расширение, находящееся выше суженного участка, на котором располагается плотина.

Водоохранилище желательно располагать ниже слияния двух рек, так как, если водораздел между долинами будет узок, то при соответствующих геологических условиях может наблюдаться сильная фильтрация воды из водоохранилища в соседнюю долину. Такую же опасность могут представлять излучины рек, когда к ним примыкают плотины. Исследование излучин необходимо проводить не только в отношении фильтрации через них, но и в отношении возможности катастрофического прорыва их под напором воды водоохранилища. Примером такой возможности является катастрофический прорыв мыса у порога Ужмы на р. Кемь (рис. 3). Прорыв мыса, к которому должна была примыкать проектируемая плотина, произошел здесь во время производства инженерно-геологических исследований.

Большинство водохранилищ обеспечивается водой за счет атмосферных осадков, выпадающих на территории водосборного бассейна реки, в долине которой сооружено водохранилище. Некоторые же водохранилища находятся в настолько благоприятных гидрогеологических условиях, что частично или даже полностью обеспечиваются за счет подземных вод. Простейшим из таких случаев является выход в водохранилище водоносного горизонта, пьезометрический уровень которого выше проектного горизонта воды в водохранилище (см. рис. 221).

Для нормальной работы водохранилища необходимо, чтобы не было утечки воды в его дно и бока, а берега были бы достаточно устойчивыми. Кроме того, важно учесть последствия, которые могут иметь место в результате затопления водохранилища и подтопления. Эти главнейшие вопросы целиком связаны с геологическим строением долины и являются основными при исследовании и оценке инженерно-геологических условий под водохранилища. Из вопросов режима водохранилища, в которые входят: испарение воды с поверхности бассейна, засорение наносами, зарастание и изменение со временем качества воды, более всего связан с геологическим строением местности процесс заиления искусственного бассейна.

В тех случаях, когда в долине реки развиты мощные наносы, для получения ясного представления о геологическом строении водохранилища проходят ряд разведочных выработок, которые располагают по линиям, перпендикулярным оси речной долины. Выработки на линиях располагают так, чтобы можно было составить как поперечные, так и продольные геологические разрезы. Расстояния между разведочными линиями и отдельными выработками выбирают на основании данных инженерно-геологической съемки. В целях получения более точной картины рельефа коренных пород, перекрытых наносами, на участках между отдельными разведочными линиями целесообразно произвести исследования электроразведкой.

С целью получить цифровые данные для подсчетов фильтрации из будущего водохранилища при исследованиях под технический проект, производят опытные откачки или работы по нагнетанию воды в скважины.

Фильтрация из водохранилища

Фильтрация из водохранилища зависит от условий залегания пород в дне и боках долины и от их литолого-петрографического состава. Только при одновременном учетывании обоих этих факторов возможно дать правильную инженерно-геологическую оценку.

Самые благоприятные условия будут, если чаша водохранилища сложена толщей таких водонепроницаемых коренных пород, как мергели, глины, глинистые сланцы и т. п. В этом случае только при очень большой мощности хорошо фильтрующих нано-

сов в месте заложения плотины, когда они не могут быть прорезаны шпунтовым рядом, будет наблюдаться фильтрация из водохранилища. Размеры потерь на фильтрацию должны быть заблаговременно определены и учтены при составлении проекта.

Довольно благоприятным будет также случай, когда дно и бока чаши водохранилища покрыты водонепроницаемыми наносами достаточной мощности. Такой покров может быть сложен слоем аллювиальных глин и суглинков, а в области развития ледниковых отложений — часто может быть представлен глинистой донной мореной. Однако и в этом случае тщательными исследованиями необходимо убедиться, что развитие наносов является сплошным и в них отсутствуют окна, через которые вода из водохранилища может поступать в коренные породы. Особенное значение это получает при сильно фильтрующих коренных породах. При малой мощности наносов или полном их отсутствии, степень фильтрации из водохранилища будет в основном зависеть от водонепроницаемости и залегания коренных пород.

К малопроницаемым породам, которые только при сильной раздробленности или при наличии зияющих тектонических трещин могут служить проводниками воды из водохранилища, относятся: все интрузивные горные породы, гнейсы, кристаллические и глинистые сланцы, кварциты, песчаники и другие тонкозернистые породы. С глубиной количество и размеры трещин выветривания быстро уменьшаются, что на некоторой глубине делает эти породы практически совершенно водонепроницаемыми. Последующее заиливание пор и трещин постепенно делает трещиноватые породы совершенно водонепроницаемыми.

Например, после сооружения одной плотины в Индии наблюдалась потеря воды через трещины в сланцах, но через 12 лет она совершенно прекратилась. В Йоркшире в Англии через трещиноватые породы уходило 1000 м³/сут. Через 2 года трещины заилились и фильтрация воды полностью прекратилась.

К водопроницаемым породам, наличие которых в пределах водохранилища может явиться причиной значительной потери воды, относятся: базальты и другие эффузивные породы, известняки и прочие растворимые в воде разновидности осадочных пород, а также грубозернистые и крупнозернистые обломочные породы.

Хотя мощные (более 30 м) потоки базальта в средней части достаточно плотны, но у кровли и почвы потока они бывают разбиты трещинами и сильно водопроницаемы. Особенно высокой водопроницаемостью обладают базальты, залегающие в виде тонких, перекрывающих друг друга потоков. Опасность фильтрации из водохранилища, сложенного базальтами, особенно велика при большой разнице между высотными отметками зеркала подземных вод и поверхности воды в водосборном бассейне. Наличие вблизи каньонов или древних погребенных долин делает фильтрацию через базальты особенно опасной. Большой водопроницаемостью отличаются также андезитобазальты и андезиты. Как правило, кислые и промежуточные разновидности эффузивных

пород менее водопроницаемы, чем базальт. Исключение представляют риолиты и обсидиан, что подтверждается обильными источниками, которые часто выходят из этих пород. Палеовулканические эффузивные породы обычно более плотны, чем неовулканические и отличаются меньшей водопроницаемостью.

Развитие закарстованных пород в пределах запроектированного водохранилища может явиться причиной фильтрации огромных размеров. Такие породы как известняки, доломиты, гипсы и содержащие гипс породы всегда вызывают серьезные опасения. Даже массивные и крепкие известняки могут растворяться вдоль трещин, давая каналы, по которым происходит утечка воды из водохранилища. Так, например, водохранилище у Альп-де-Кавалли в Италии, сложенное из толщи переслаивающихся пластов мрамора и кристаллических сланцев, теряет большое количество воды, выходы которой наблюдаются гораздо ниже плотины. Практика гидротехнического строительства показывает, что в случае кавернозных закарстованных известняков вся вода из водохранилища может уходить, совершенно не задерживаясь в нем. Водохранилище Монте-Жак в Испании, для создания которого была возведена плотина в 72 м высотой, никогда не было заполнено. Все дно его сложено закарстованными юрскими известняками, прикрытыми тонким слоем глин. Через несколько дней после начала наполнения водохранилища в дне его начали образовываться провальные карстовые воронки, через которые уходит вглубь вся поступающая вода, так что по дну водохранилища можно почти всегда пройти до плотины. Недостаточный объем инженерно-геологических исследований и небрежное их выполнение привели к неправильной оценке условий работы водохранилища. Слой глины на поверхности закарстованных известняков ввел в заблуждение участвовавших экспертов и огромные средства оказались израсходованными впустую. Аналогичный случай имел место во Франции, где небольшая плотина Сен-Гильельм-ле-Дезер совершенно не удерживает воды, которая полностью уходит сквозь юрские известняки.

В случае, когда известняк закарстован не на всю свою мощность и имеются благоприятные условия залегания пород, размеры фильтрации могут быть меньше притока воды в водохранилище, которое удается заполнить частично или даже полностью. Примером частичного наполнения водохранилища больших размеров служит верхний бьеф плотины Мария-Кристина в Испании. При проектном объеме водохранилища в 28 млн. м³ и высоте плотины в 30 м, уровень воды поднялся только на высоту 12 м, а объем не превышает 4 млн. м³.

Не менее показателен случай с водохранилищем Камараза на р. Ногэра Палляреза в Испании. Несмотря на то, что во время предварительных исследований на месте водохранилища были обнаружены кавернозные средне-юрские известняки, а в районе плотины и нижнего бьефа источники, этим фактам не было уделено должное внимание и без дальнейших детальных исследова-

ний была возведена плотина высотой в 92 м с проектным подпором в 83 м. При наполнении водохранилища обнаружили большие потери воды, а в нижнем бьефе, на расстоянии около 0,5 км от оси плотины, на протяжении 1,2 км образовались источники, отдельные из которых имели дебит до 3 м³/сек. Стационарные наблюдения показали, что объем утечки воды из водохранилища увеличивался с каждым годом на 5⁰/₀ и по истечении шести лет с момента окончания строительных работ достиг в феврале 1927 г. 11,26 м³/сек. Таким образом катастрофа постепенно надвигается и только в случае своевременного принятия мер по заполнению фильтрующих пустот в кавернозных известняках может быть предотвращена. Не доведенные до конца работы по цементации дали положительные результаты, а следовательно, в случае их окончания, могут спасти сооружение.

В СССР на кавернозных доломитизированных известняках было создано водохранилище при сооружении Сызранской гидро-

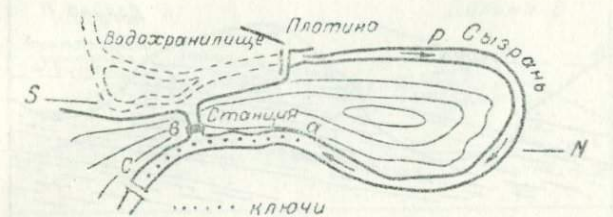


Рис. 218. Схема расположения Сызранского гидроузла.

электрической станции, которая расположена на Сызранской Луке. Подпор плотины равен 12 м, а расстояние по водоразделу между водохранилищем и берегом у станции около 100 м (рис. 218). После наполнения водохранилища, по всему берегу нижнего бьефа на участке *ac* (рис. 218) появились ключи, питающиеся за счет фильтрующей из водохранилища воды. Путем стационарных наблюдений было установлено, что суммарный дебит ключей уменьшился с 18,5 л/сек. в 1930 г. до 9,9 л/сек. в 1931 г. Дальнейшее закономерное уменьшение дебита ключей послужило основанием считать, что происходит заиливание путей фильтрации и опасений за состояние водохранилища и плотины нет.

Карстующиеся каменноугольные известняки в бассейне р. Мсты были причиной, вызвавшей большие затруднения при проектировании сооружений. Инженерно-геологической съемкой было установлено, что, несмотря на покров ледниковых отложений, карстовые явления сильно проявляются как в долине р. Мсты и ее притоков, так и на водораздельных пространствах. Большое число карстовых воронок, подземные реки и периодически исчезающие озера свидетельствовали о сильной закарстованности всего района и территории проектируемого водохранилища в частности.

При выборе места под водохранилище для питания головы канала Волга-Москва, оно было намечено у г. Старицы на Верхней Волге. Однако опасение утечки воды в трещиноватые известняки нижнего и среднего карбона было главной причиной, заставившей отказаться от этого очень выгодного самотечного варианта.

Вследствие более высокой растворимости по сравнению с карбонатными породами, породы, содержащие в значительном количестве гипс, еще более опасны, чем известняки. Примером могут служить закарстованные гипсоносные породы пермского возраста, развитые в бассейне р. Камы, которые вызывают большие трудности по осуществлению проекта грандиозного Камского гидротехнического узла.

Возможность фильтрации из водохранилища через водопроницаемые осадочные породы, как известняки, пески, гравий, песча-



Рис. 219. Геологический разрез через водораздел, сложенный пологопадающими слоями.

ники и т. п. находится также в тесной зависимости от условий залегания и относительной высоты тальвегов ближайших долин.

Одним из очень часто встречающихся в практике гидротехнического строительства случаев является такой, когда пологопадающие пласты выходят в двух соседних речных долинах (рис. 219). Из рисунка видно, что уровень воды в водохранилище, устроенном в долине В, не может быть поднят выше выхода почвы водопроницаемых слоев, погружающихся в направлении долины А. При таком моноклинальном залегании пород фильтрация из водохранилища возможна, как правило, только в направлении, совпадающем с падением пластов (рис. 192, А).

Самым благоприятным случаем для создания водохранилища будет такой, когда продольная долина совпадает с осью синклинальной складки (рис. 129, В). Однако и при этом, довольно редко встречающемся сочетании условий залегания пород с рельефом местности, возможна фильтрация через водораздел, если сверху залегает мощная толща хорошо фильтрующихся пород (рис. 220). Водоохранилище, запроектированное в долине В, не может иметь

уровень воды выше *ab*, так как в этом случае начнется фильтрация в долину А.

В случае когда ось синклинали погружается вверх по течению реки, при проектировании водохранилища нужно предусмотреть время, необходимое для насыщения водой трещиноватых пород. Если же ось синклинали погружается в сторону течения реки, то фильтрация возможна только на участке водохранилища, прилегающем непосредственно к плотине. Исключительно благоприятные условия в отношении фильтрации будут, если ось синклинали на месте водохранилища образует прогиб (рис. 223, В). Такой случай имеет место в районе водохранилища, сооруженного для Гергебильской гидроэлектростанции в Северном Дагестане.

Водохранилище, находящееся в продольной антиклинальной долине, будет находиться в самых неблагоприятных условиях, так

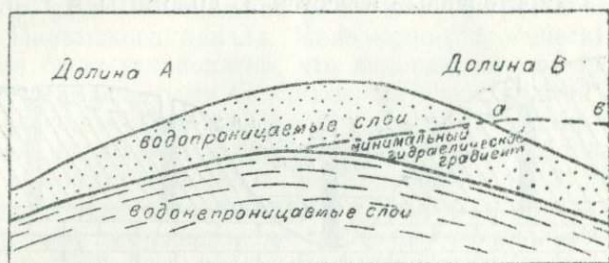


Рис. 220. Фильтрация из водохранилища, расположенного в синклиальной долине.

как при наличии водопроницаемых пластов фильтрация будет происходить через оба бока водохранилища (рис. 192, Б).

Если водохранилище расположено в поперечной долине, то при падении пластов в сторону верхнего бьефа, при прочих равных условиях, утечка воды будет менее вероятна, чем при падении их в сторону нижнего бьефа. Опасность потерь от фильтрации в этом случае будет особенно велика, если падение пластов меньше падения речной долины. При вертикальном или крутом залегании пластов возрастает опасность фильтрации по водопроницаемым пластам в соседние долины, дно которых ниже уровня воды в водохранилище.

Выход в чашу водохранилища водоносного горизонта, приуроченного к хорошо проводящим воду породам, может послужить путем для утечки воды. Однако, если горизонт напорный, то это произойдет только при условии, что пьезометрический уровень артезианского горизонта ниже уровня подпора (рис. 221).

При неблагоприятных литологических и тектонических условиях фильтрации воды из водохранилища может происходить не только в соседние речные долины, овраги и балки, но также в горные выработки, шахты, туннели и т. п., что вызывает заметное увеличение притока воды в них и повышает стоимость

эксплуатации. Такие случаи обводнения неоднократно наблюдались в Донбассе, а проект водохранилища у Кривого Рога на р. Ингулец был оставлен неосуществленным из-за реальной опасности обводнения соседних железных рудников по сильно нарушенным трещиноватым кварцитам.

При оценке условий фильтрации важно учитывать не только фильтрующую способность горных пород и условия их залегания, но также и длину пути, который вода должна пройти от водохранилища до выхода на поверхность. Чем длиннее этот путь, тем менее реальна опасность потери больших объемов воды. Водопроницаемые пласты и трещиноватые породы, которые выходят на поверхность на расстоянии километров или даже десятков километров от водохранилища, проводниками существенных количеств воды служить не могут. Исключения представляют только сильно закарстованные известняки, доломиты и т. п.

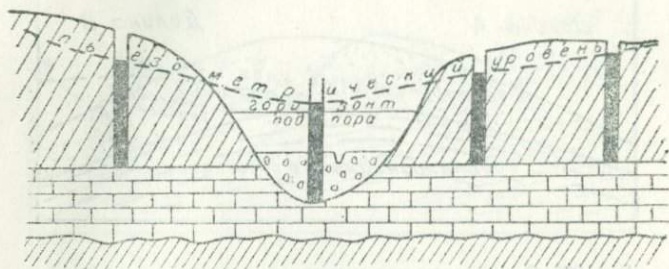


Рис. 221. Безопасное соотношение горизонта подпора и пьезометрического уровня артезианского водоносного горизонта.

Нужно также не забывать, что нормальная работа водохранилища определяется не абсолютными значениями утечки, а соотношением объектов фильтрующейся из водохранилища воды и поступающей в него. При положительном балансе утечки не являются опасными, если только они не сопровождаются интенсивными разрушениями водопроводящих пород, при которых фильтрация будет с каждым годом возрастать и потребуются принятие срочных мер по ее прекращению.

На наличие фильтрации воды из водохранилища указывает внезапное увеличение расходов в нижнем бьефе и в речках, протекающих в соседних долинах, если это увеличение не связано с выпадением атмосферных осадков. Таким же указанием служит появление ключей и постоянных водных потоков в сухих ранее долинах. Скорость и направление фильтрации могут быть определены с помощью красящих веществ (флуоресцин, уранин и др.), которые применяются при исследовании подземных вод. Запуск красящего вещества производится опусканием в водохранилище на нужную глубину нескольких бутылей с красителем, среди которых находится бутылка с небольшим патроном динамита, который взрывается электрическим током.

Мероприятия по борьбе с фильтрацией из водохранилища также разнообразны, как разнообразны причины, вызывающие утечку воды, и условия, в которых она протекает. Чаще всего для уменьшения или полного прекращения фильтрации пользуются методом цементации трещиноватых пород. При этом жидкий цемент нагнетается в буровые скважины, расстояние между которыми зависит от степени трещиноватости и характера трещин. Иногда прибегают также к нагнетанию специальных жидких битумов, обладающих определенной температурой плавления, вязкостью и т. д.

Способы бетонирования и асфальтирования являются дорогими и в последнее время их стремятся по возможности заменить глинизацией. В широком масштабе глинизация была проведена для устройства противофильтрационных завес на Мэдэнском водохранилище, расположенном на р. Верхний Чагрес и входящем в систему Панамского канала. Инженерно-геологическими исследованиями было установлено, что водораздельные пространства сложены трещиноватыми кавернозными известняками с беспорядочным расположением трещин и пустот. Глинизация производилась путем нагнетания в буровые скважины, пройденные двумя рядами, глинистого раствора под давлением до 21 атмосферы. Расстояние между скважинами было 10,7 м, а между рядами — 7,6 м. Лучшим для глинизации считается материал, состоящий из 26% глины, 33% ила, и 41% мелкозернистого песка. Нагнетаемый глинистый раствор должен иметь влажность от 40 до 60%, понимая под влажностью отношение веса чистой воды к весу воды и минеральных частиц вместе.

Если в стенках водохранилища исследованиями обнаружены небольшие опасные в отношении фильтрации участки, то в них устраивают перемычки возможно более простых и дешевых конструкций.

Гораздо труднее борьба с фильтрацией из водохранилищ после их заполнения, так как редко наблюдается, чтобы водохранилище в короткий срок потеряло всю воду, и обычно противофильтрационные работы приходится вести в частично или даже полностью наполненном водохранилище. В таком случае обычно производят цементацию участков водохранилища, на которых наиболее вероятны утечки воды. Если же удается точно установить место фильтрации, то можно непосредственно выше этого места загрузить в водохранилище подходящий строительный материал из числа тех, которые применяются при возведении плотин и шлюзов. Для этой цели могут быть использованы фашинные матрасы, при условии аккуратной укладки их.

Устойчивость берегов водохранилища

Создавая водохранилища, человек резко нарушает нормальный ход геологических процессов, которые протекали в речной долине ранее. Скорость течения воды становится гораздо меньше,

а размывающая деятельность водного потока сильно уменьшается или совсем прекращается. В то же время резкое повышение уровня воды на месте водохранилища вызывает новые факторы разрушения склонов речной долины. Размывающая деятельность волн, непостоянство горизонта воды в водохранилище и насыщение водой склонов, которые ранее были сухими, могут явиться причиной разрушения берегов водохранилища. Косогоры, которые до наполнения водохранилища были устойчивы, приходят в движение. Оползни развиваются как на затопленной, так и на сухой части склона долины в районе водохранилища.

Непосредственное размывание берегов водохранилища прибойной волной происходит в пределах изменения горизонта воды и на 1—2 м выше высокого стояния ее, что зависит от размера волн, которые на больших водохранилищах бывают выше 1—1,2 м. Волны такого размера обладают большой разрушительной силой, подмывают берег и способствуют его дальнейшему разрушению.

Основными факторами, определяющими высоту ветровой волны, являются: 1) скорость ветра; 2) продолжительность и равномерность действия ветра в одном направлении; 3) угол наклона направления ветра к горизонту; 4) размеры поверхности водоема и 5) глубина водохранилища. Для расчета волнения существует ряд формул, большинство которых учитывает только часть этих факторов, а именно: скорость ветра и поверхность водоема.

Укрепление берегов водохранилища от размывающих действий прибойных волн ничем в принципе не отличается от укрепления берегов рек (глава IX).

Особенно важное значение имеют вопросы оползней в чаше водохранилища после его заполнения. Причины образования оползней в водохранилищах могут быть самыми разнообразными, зависящими от особенностей инженерно-геологических условий каждого сооружения. Усиление или уменьшение оползней после затопления водохранилища зависит не только от изменения физико-механических свойств грунтов под воздействием смачивания, но и от характера изменения хода геологических процессов. Это делает прогноз развития оползней в чаше водохранилища очень трудным и требующим особого внимания. Только после тщательных исследований можно подойти к более или менее конкретному решению этого жизненно важного вопроса. Менее всего благоприятные условия в этом отношении имеют место в полосе переменного уровня. Постоянное чередование увлажнения и высыхания ведет эту зону к интенсивному выветриванию, в результате чего она обычно бывает сложена наименее устойчивыми грунтами.

Там, где река при подпоре заливает бывшие ранее сухими берега, она непосредственно смачивает их, что увеличивает возможность усиления старых и возникновения новых оползней. При смачивании крутого берега и подмыве его возможны об-

валы, которые при связных грунтах принимают характер катастрофических оползней.

При смачивании глинистых пород поверхность скольжения часто проходит ниже поверхности воды, причем образуется оползень, подошва которого уходит ниже горизонта подтопления. Если глинистые слои подстилаются крепкими породами, то в таком случае оползни обычно возникают только при условии погружения твердого основания глин под поверхность воды. Такое соотношение наблюдается на оползнях Батракского косого на южном берегу Самарской луки. Здесь юрские глины, залегающие на известняках каменноугольного возраста, сползают только в местах, где поверхность известняков находится ниже уреза воды в реке.

Самого большого масштаба оползни и оплывины достигают во время спуска воды из водохранилища и в период низкого стояния горизонта воды в нем. В этот момент склоны, объемный вес пород которых увеличился за счет насыщения водой, а сцепление в глинистых грунтах уменьшилось, лишаются контрфорса, обусловленного гидростатическим давлением воды в бассейне. Кроме того, возникает движение подземных вод из боков водохранилища, в силу чего гидродинамическое давление еще более ослабляет устойчивость пород, слагающих склоны. При наличии больших скоростей течения и грунтов соответствующего петрографического состава, проявляются суффозионные процессы, которые не менее важно учитывать. Вымыв частиц рыхлого грунта в этих случаях часто достигает значительных размеров. Присутствие растительного покрова (лес, кустарник) несколько затрудняет образование оползней, так как корни деревьев и кустов не только скрепляют рыхлые грунты, но действуют также как дренаж.

Особенно трудные условия для создания водохранилищ наблюдаются в областях развития вечной мерзлоты. С того момента как водохранилище наполняется водой, резко меняется тепловой режим его дна и боков. Вода в бассейне предохраняет породы от охлаждения, в результате чего верхняя граница вечной мерзлоты начинает опускаться. Одновременно оттаивающие в дне и боках водохранилища породы теряют свойства водонепроницаемой скалы и в зависимости от их характера могут становиться как водонепроницаемыми, так и пластичными. Это ведет к потере воды на фильтрацию и вызывает оползание склонов долины, которые до создания водохранилища были достаточно устойчивыми.

Затопление и подтопление

Под затоплением понимается непосредственное покрытие водой долины реки до запроектированного горизонта воды в водохранилище. Затопляемые территории при высоком под-

поре, положом падении продольного профиля и большой ширине речных долин занимают часто огромные пространства. Так, например, водохранилище Днепростроя при подпоре в 35 м распространилось вверх на расстояние около 135 км, достигая в долине р. Самары, впадающей в Днепр около Днепропетровска, ширины до 5 км. Ширина водохранилища в этой реке-притоке заметно больше, чем в р. Днепре потому, что здесь верхний горизонт воды оказался выше, чем берега долины.

На затопляемых пространствах часто расположены большие сооружения и целые селения, которые требуют перемещения. Часто эти территории представляют такую ценность, что их перемещение с последующим затоплением является экономически невыгодным.

В этом случае может оказаться более целесообразным ограждение с помощью дамб.

Проводя мероприятия по защите от затопления сооружений народно-хозяйственного значения, существующих до заполнения водохранилища, нужно учитывать максимальный горизонт подпора.

Водные пути сообщения необходимо проводить так, чтобы они оставались наполненными водой, если одно из водохранилищ потеряет воду.

Подтоплением называется влияние подпора водохранилища на подземные воды в берегах долины реки. В зависимости от гидрогеологических условий, наблюдаются самые разнообразные случаи подтопления. Здесь остановимся только на некоторых, наиболее характерных из них, чаще других встречающихся в практике гидротехнического строительства.

Особенно сильно подтопление начинает сказываться на прилегающей к водохранилищу местности в том случае, если горизонт воды в водохранилище заметно выше высокого уровня воды в реке. В первую очередь подтопление распространяется на аллювиальные террасы. Такое подтопление приречных районов г. Днепропетровска произошло от подпора плотины Днепростроя. Здесь после заполнения водохранилища оказались сильно подтопленными прилегающие районы, расположенные на аллювиальной террасе р. Днепра.

Несмотря на подсыпку шлаков и т. п., уровень подземных вод оказался настолько высоким, что в конце концов пришлось прибегнуть к искусственному его понижению путем механической перекачки.

В Бобриковском районе Подмосковного бассейна в результате сооружения водохранилища на р. Любовке произошло подтопление легко размокающих лессовидных суглинков. Выходом из положения при закладке фундаментов генераторного здания тепловой электростанции явились глубокие опускные колодцы, которые были заложены на подстилающих суглинки мелкозернистых кварцевых песках угленосной свиты карбона.

Повышение уровня подземных вод может пагубно сказываться на возделываемых полях, вызывая их заболачивание; в то же время оно способствует поднятию воды в колодцах, которые из пересыхавших ранее становятся имеющими достаточное количество воды в течение всего года. Затапливание погребов и подвалов, а также размокание глинистых грунтов в основании тяжелых зданий являются нежелательными последствиями подтопления. К ним же относятся и оползни, деятельность которых активизируется при наличии подтопления.

Чем более населена местность, тем большее народно-хозяйственное значение имеют последствия подтопления, прогноз которых должен быть дан на основании инженерно-геологических исследований.

В этих случаях вопросы подтопления могут даже играть решающую роль для выбора места под водохранилище. Так, например, при устройстве водохранилища для водоснабжения Сиднея в Новом Южном Уэльсе в Австралии место для него выбиралось шесть раз.

Если вода из водохранилища отводится в сторону, то уровень подземных вод в нижнем бьефе снижается и возникают явления противоположного порядка. Уровень воды в колодцах понижается, наступает иссушение почвы в близлежащих районах и наблюдаются нарушения правильной работы ирригационной сети, если таковая имеется.

Заиление

Всякое созданное в речной долине водохранилище является искусственным местным базисом эрозии для расположенного выше участка реки. При достижении речным потоком водохранилища скорость его резко падает и он в пределах бассейна начинает отлагать переносимый им по дну и во взвешенном состоянии обломочный материал. Выносимые в водохранилище наносы распределяются по фракциям в зависимости от диаметра частиц. У хвостовой части водохранилища отлагаются самые крупные фракции, которые начинают образовывать здесь подводный бар. Постепенно бар выходит из воды и из него образуется конус, постепенно распространяющийся вверх по течению. При соответствующих условиях он может выйти за линию подпора и засыпать возделываемые земли и отдельные сооружения.

Содержащийся в воде тонкий материал разносится во взвешенном состоянии по всему водохранилищу и может сыграть положительную роль, вызывая заиление фильтрующих трещин, как в боках и дне водохранилища, так и у основания плотины. Такой случай имел место в водохранилище Сызранской гидроэлектростанции, где количество фильтрующей воды с каждым годом уменьшалось. Однако при огромном количестве тонких

взвешенных наносов, как это характерно для рек Ср. Азии и Закавказья, наступает интенсивный занос водохранилища.

Чем круче продольный профиль реки, тем более резкое изменение процессов, протекающих в ее долине, происходит после создания водохранилища. В результате этого более всего подвержены заносу наносами водохранилища на горных речках, что осложняет их эксплуатацию. В этих условиях может быстро уменьшаться полезный объем водохранилища, что особенно важно в тех случаях, когда задачей водохранилища является не только создать напор, но и обеспечить определенный объем воды. При этом перед глухими плотинами получают преимущество плотины разборчатого типа, позволяющие делать время от времени промывку и прочистку водохранилища. Необходимо также принятие специальных технических мер против попадания крупного обломочного материала в каналы и сооружения станционного узла гидростанции.

Опыт гидротехнического строительства показывает, что процесс заполнения наносами может идти с исключительной быстротой. Небольшое водохранилище с каменной плотиной в 12 м высотой, расположенное на р. Ак-су в Дагестане, было занесено крупным песком и галькой в течение 1—2 лет. Водоохранилище у Аустина на р. Колорадо в Техасе через 13 лет после окончания сооружения заполнилось наносами на 95%. Водоохранилище на р. Тулумне в Калифорнии за 36 лет своего существования потеряло 83% своего первоначального объема.

Во время инженерно-геологических исследований под водохранилище надлежит обращать особое внимание на все места, сложенные рыхлыми породами, которые смогут послужить материалом для наносов. Очень часто бывает целесообразно принять меры по укреплению размываемых оврагов и ущелий, расположенных выше водохранилища.

Изменения качества воды

В районах с жарким сухим климатом, вследствие интенсивного испарения, может происходить постепенное изменение химического состава воды в водохранилище. Источниками засоления в этих условиях могут быть сильно минерализованные подземные воды, за счет которых в основном питается речка, на которой устраивается водохранилище. Кроме того, засоление происходит вследствие вымыва растворимых солей из пород, развитых в районе водохранилища, и из почвенного слоя. Поэтому в прудах юга Европейской части СССР часто наблюдается сезонное изменение химического состава воды. Весной, когда в результате таяния снега в водохранилище поступает большое количество воды, она содержит минимум минеральных веществ, в течение лета минерализация постепенно увеличивается, а к осени достигает максимума.

ПЛОТИНЫ

Особенности инженерно-геологических исследований под
плотины

По своему назначению плотины подразделяются на водоподпорные, водоудержательные и фильтрующие. Особенно большое значение потери на фильтрацию имеют в водоудержательных плотинах, задачей которых является создание водохранилищ в сухих долинах с временным стоком или на речках с небольшим расходом. Водоудержательные регулирующие плотины очень часто устраиваются для питания судоходных каналов и регулирования расхода рек.

В небольших размерах фильтрация не играет существенной роли для водоподпорных плотин, а для фильтрующих дамб является главной задачей их возведения, так как они служат для урегулирования стока рек и суходолов.

Опыт мирового гидротехнического строительства свидетельствует, что большинство разрушений плотин, которые часто сопровождалось огромными бедствиями, явилось следствием недостаточной внимательной оценки тех инженерно-геологических условий, в которых они возводились. Аварии происходили несмотря на безукоризненность расчетов и высокое качество строительных материалов. В настоящее время исследования под плотины проводятся с такой тщательностью, как ни под одно другое гидротехническое сооружение. Расположение плотин в речных долинах и работа под высоким гидростатическим напором, действующим с одной стороны, заметно отличает плотины от других инженерных сооружений. Это, в свою очередь, придает некоторые специфические черты и инженерно-геологическим исследованиям под плотины.

Разведка под плотину ведется по поперечному профилю, проходящему по проектируемой оси сооружения. Профиль должен пересекать всю речную долину и для равнинных рек, как Волга, Кама, Днепр и другие, может иметь длину в несколько километров. В зависимости от стадии проектирования скважины по створу плотины задаются в русловой части долины и на пойменных террасах на расстояниях от 100 до 200 м. На более высоких террасах, которые по проекту пересекаются дамбами, расстояния между разведочными выработками могут быть увеличены до 300—500 м. На коренных берегах также необходимо пройти не менее 1—2 скважин на каждом берегу.

В дополнение к разведочной линии по оси плотины, строение долины изучается еще по двум дополнительным профилям, проходящим по обе стороны главного профиля, в расстоянии 100—300 м от него. Эти два профиля являются контрольными и должны более полно осветить геологическое строение участка реки, на котором проектируется плотина. Количество выработок

на каждом из них составляет обычно не более 30—50% по сравнению с главным профилем.

В узких горных долинах, имеющих характер крутых скалистых ущельев, расстояния между отдельными скважинами принимаются равными 25—50 м, причем в русле реки должно быть пройдено не менее 1—2 скважин, которые могут быть заменены наклонными скважинами, заданными на берегах реки. Параллельные створы разбиваются на расстоянии 50—75 м от главного, а интервалы между выработками на них увеличиваются до 50—75 м (рис. 222).

Бурение желательнее производить одновременно на всех трех створах. Это дает возможность уже в начале разведочных работ иметь суждение, насколько удачно выбрано место под плотину. По мере надобности количество выработок по створу плотины увеличивается, пока не будет получен геологический разрез, который даст исчерпывающие данные о характере аллювиальных и коренных отложений и условиях их залегания, а также и о гидрогеологических условиях (рис. 222).

В случае если аллювиальные отложения перекрывают скальные породы, разведочные скважины необходимо пройти в коренных породах на глубину не менее 10—15 м, а при очень высоких тяжелых плотинах на глубину не менее 25 м. Это нужно для того, чтобы выяснить характер трещиноватости скального ложа, а также чтобы ошибочно не принять отдельные глыбы и валуны за коренной массив. Такая ошибка была сделана при разведке под плотину для Аджарисхальской гидростанции, в результате чего плотина была запроектирована неправильно.

При малой мощности наносов надводную часть склона долины целесообразно бывает разведать с помощью шурфов или штолен (рис. 222). С помощью этих выработок можно детально изучить трещиноватость породы, характер выветривания и глубину, на которую оно распространяется.

Разведку трещиноватых пород ниже дна горных рек производят галлерейми, проходимыми под руслом из задаваемых на берегах шахт. При работе на реках со стремительным и бурным течением, русло которых загромождено огромными каменными глыбами, разведка галлерейми имеет большие преимущества. Такие исследования, например, были проведены под плотину Мальпертюн на р. Роне.

Если долина реки заполнена очень мощной толщей водопроницаемых наносов, то большинство буровых скважин проходят на глубину несколько больше той, которая может быть предельной экономически возможной глубиной для рытья котлована под плотину, т. е. примерно 15—20 м.

Опытные работы сводятся обычно к определению коэффициента фильтрации пород, залегающих в основании плотины и в месте ее примыкания к берегам. Для водоносных пород определение производится методом опытных откачек, а для сухих — способом нагнетания. Если желают более подробно изучить

строительные свойства грунтов в основании проектируемой плотины, то опускают опытные кессоны. В месте заложения тяжелых сооружений проводят опыты с пробными нагрузками. Для выяснения характера режима подземных вод, в районе сооружения и в близлежащих районах организуют стационарные гидрогеологические наблюдения.

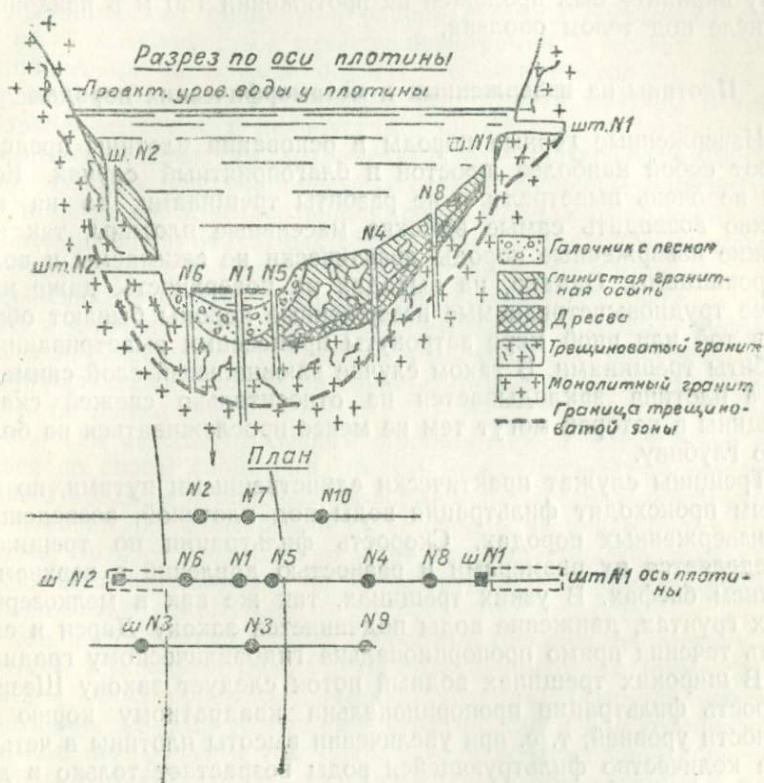


Рис. 222. Разведочные работы на месте плотины.

Одновременно с исследованиями под плотину, производят изыскания и под другие головные сооружения. Одним из таких наиболее ответственных сооружений является водослив, который поэтому стараются заложить так, чтобы основание, а если возможно, то и стенки его, находились в крепких коренных породах. Скважины и шурфы при разведке водослива проходятся значительно ниже проектного дна, чтобы иметь точные данные о строении пород, слагающих его. Число разведочных выработок при разведке водослива определяется его протяжением и гидрогеологическими условиями.

При исследованиях и выборе места под плотину особое внимание необходимо уделять оползневым явлениям. Даже долины,

склоны которых не обнаруживают признаков оползней, следует тщательно изучать и установить степень вероятности возникновения оползней во время строительных работ. Такой случай имел место при сооружении Ачалукской гидроэлектростанции. В результате подсечки основания склона котлованом под здание станции и другие сооружения, произошли значительные подвижки, что потребовало изменения проекта. Трубопровод по новому варианту был проложен на протяжении 150 м в наклонном туннеле под телом оползня.

Плотины на изверженных и метаморфических породах

Изверженные горные породы в основании плотины представляют собой наиболее простой и благоприятный случай. Если они не очень выветрелы и не разбиты трещинами, то на них можно возводить самые высокие массивные плотины, так как свежие изверженные породы практически не сжимаемы и водонепроницаемы. Однако, на выходах на поверхность, даже наиболее трудновыветриваемые изверженные породы бывают обычно в той или иной мере затронуты процессами выветривания и разбиты трещинами. В таком случае элювиальный слой снимается, а плотина закладывается на относительно свежей скале, трещины в которой могут тем не менее прослеживаться на большую глубину.

Трещины служат практически единственными путями, по которым происходит фильтрация воды под плотиной, возведенной на изверженных породах. Скорость фильтрации по трещинам определяется их размерами и разностью давлений в верхнем и нижнем бьефах. В узких трещинах, так же как в мелкозернистых грунтах, движение воды подчиняется закону Дарси и скорость течения прямо пропорциональна гидравлическому градиенту. В широких трещинах водный поток следует закону Шези и скорость фильтрации пропорциональна квадратному корню из разности уровней, т. е. при увеличении высоты плотины в четыре раза количество фильтрующейся воды возрастает только в два раза.

Одновременно вода, протекающая в трещинах более широких, чем 0,0002 мм, производит гидростатическое давление, направленное вверх. Грубо это давление может быть принято равным полной высоте подпора, а размер его на фундамент плотины будет определяться поверхностью, на которую оно распространяется. Для неправильно трещиноватых пород, подверженная давлению часть фундамента находится в пределах 30—40%. Будучи направлено снизу вверх, гидростатическое давление уменьшает вес плотины и тем самым снижает сопротивление всей конструкции сдвигающим усилиям, действующим со стороны верхнего бьефа.

Трещины в изверженных породах бывают связаны с отдельностями или являются результатом крупных тектонических наруше-

ной. Трещины отдельности, проходящие вдоль оси плотины, будут более желательными, чем ориентированные перпендикулярно к ней. Число таких трещин под плотиной будет меньше, а пути фильтрации по ним будут более длинными. Так же более благоприятные инженерно-геологические условия будут при крутом падении трещин, нежели при пологом. В последнем случае особенно опасны трещины, падающие в сторону нижнего бьефа.

Тектонические трещины в районе плотины оказывают влияние на ее устойчивость и размеры фильтрации. В местах сильных тектонических нарушений породы бывают настолько разбиты мелкими и крупными трещинами, что строить плотины в таких раздробленных зонах недопустимо. Особенно это относится к сейсмическим областям, которые обычно связаны с геосинклинальными поясами, где горообразовательные процессы происходили еще в третичное и четвертичное время. Подвижки во время землетрясений вдоль отдельных сбросов здесь неоднократно отмечались в историческое время и наблюдаются до настоящего времени. Такие молодые сбросы неблагоприятны во всех отношениях, а наличие их в районе строительства вызывает большие опасения. Смещения вдоль сбросов древних тектонических районов (Урал) мало вероятны и такие старые сбросы опасны только как пути фильтрации.

Так как породы по разные стороны сброса могут резко различаться по своим свойствам, то это может привести к неравномерным осадкам и опасным деформациям жестких конструкций. В отношении же фильтрации такие сбросы и сдвиги будут менее опасны, потому что если по одну сторону сбрасывателя находятся скальные породы, а по другую — мягкие, то трещины редко бывают открытыми.

Чем под большим углом сбросовая трещина пересекает ось плотины, тем короче будут пути фильтрации и тем менее благоприятны инженерно-геологические условия. Самыми неблагоприятными, как для условий фильтрации, так и для устойчивости плотины, они будут в том случае, если вертикальная сбросовая трещина будет проходить перпендикулярно оси плотины, как это имело место при сооружении Гергебильской гидростанции (Закавказье).

Эффузивные породы представляют собой менее надежное основание под плотины, чем интрузивные, так как они отличаются большей трещиноватостью, менее плотны и образуют тела, сравнительно мало выдерживающиеся в горизонтальном и вертикальном направлениях. Особенной осторожности и тщательных исследований требуют районы распространения молодых лавовых потоков. Они часто залегают покровом небольшой мощности на водопроницаемых и легко размываемых древне-аллювиальных отложениях. При таком залегании совершенно отпадает возможность возведения высоких массивных плотин, а сооружения меньших размеров требуют особенно тщательной всесторонней оценки инженерно-геологических условий.

Очень часто эффузивные породы одного названия имеют самые разнообразные физико-механические свойства. Так, например, вулканические туфы нередко являются вполне крепкими и водонепроницаемыми породами, пригодными как основание под тяжелые плотины с большим напором, в других же случаях они сильно пористы, обладают малой прочностью и характеризуются большой водопроницаемостью.

Кристаллические сланцы и другие метаморфические породы уступают по своим геотехническим свойствам изверженным породам. Хотя они представляют собой неплохое основание под плотины, но сланцеватая текстура делает фильтрацию через них более легкой, чем через изверженные породы. Слюдистые, хлоритовые и тальковые сланцы, кроме того, склонны давать оползни и сплывы по плоскостям сланцеватости, в особенности если они затронуты процессами выветривания.

Плотины на осадочных породах

При оценке инженерно-геологических условий под плотины на осадочных отложениях в первую очередь необходимо иметь сведения о тектонике района, литолого-петрографическом составе пластов, их структуре и текстуре, физико-механических свойствах и водоносности. Находясь все время в тесной связи и зависимости от литолого-петрографического состава и структурных особенностей пород, геотехнические свойства осадочных отложений изменяются в весьма широких пределах. Среди них можно наблюдать всевозможные переходы от крепких скальных пород (кварциты и др.), которые по геотехническим свойствам близки к изверженным породам, до рыхлых песков и сильно пористых лессов. Кроме того, особое положение занимают легко растворимые карстующиеся породы.

Горизонтальное залегание осадочных пород является благоприятным случаем для плотиностроения. При любой мощности слоев и любом чередовании их по петрографическому составу все части плотины будут иметь основание одинаковой несущей способности (рис. 223, А), а сопротивление на сдвиг будет зависеть только от геотехнических свойств пород, с которыми будет сочленена плотина. Если основание плотины можно заложить на водонепроницаемых породах, то возможность фильтрации под плотинной исключается.

Наклонное залегание осадочных толщ вносит целый ряд осложнений в инженерно-геологические условия. При этом, чем меньше мощность отдельных слоев и чем круче они падают, тем вероятнее, что в основании плотины окажется несколько пластов, разных по своим несущим способностям и другим физико-механическим свойствам (рис. 223). В случае если простираение пород совпадает с направлением долины, т. е. перпендикулярно к оси плотины, смена слоев под плотинной будет наиболее неблагоприятно сказываться на устойчивости сооружения. При таком поло-

жении весьма вероятны неравномерные осадки и фильтрация из водохранилища по водопроницаемым слоям (рис. 223, Б). Сопротивление на сдвиг тоже в различных частях сооружения будет разное. Однородное строение основания плотины при таких условиях залегания мыслимо только, если длина оси плотины будет близка к мощности пласта, на котором возводится сооружение.

Самый благоприятный случай при нарушенном залегании пород представляет синклинальная долина с прогибом оси синклинали в верхнем бьефе (рис. 223, В). Даже при разнородном составе пород пути фильтрации будут достаточно длинными, а сопротивление на сдвиг значительным. Еще более выгодные условия с точки зрения минимальных потерь на фильтрацию под телом плотины будут при крутом падении пластов в сторону верхнего бьефа (рис. 223, Г). При погружении свиты пластов в направлении нижнего бьефа условия фильтрации будут менее благоприятными и тем хуже, чем положение падение (рис. 223, Д и Е). Самым неудачным местом под плотину будет сводовая часть антиклинальной складки (рис. 223, Ж и рис. 192, Б), где к прочим неблагоприятным условиям присоединяется еще сильная раздробленность и трещиноватость пород. Если направление оси антиклинали совпадает или близко к оси плотины, то сооружение следует располагать возможно далее от оси, на том крыле, которое падает вверх по течению реки.

Менее всего как основание под плотины пригодны трещиноватые и карстующиеся известняки. Возведения плотин на них лучше избегать, если же по другим соображениям перенести сооружение в другое место не представляется возможным, то к проектированию можно приступать только после длительных опытов на фильтрацию. Чем выше и массивнее проектируется плотина, тем более жесткие требования предъявляются к известнякам, слагающим основание плотины и склоны долины. Примером неудачной постройки плотины на карстовых известняках может служить построенная земляная плотина на южном берегу Крыма. Плотина имеет высоту 15 м и левой стороной примыкает к юрским карстующимся известнякам, через которые из водохранилища уходит почти вся вода.

Особый интерес представляет история возведения плотины Хальзер-Бар на р. Тенниси в США. Она имеет длину 360 м, подпор 20 м и возведена на карстовых известняках. Осушить котлован под плотину с помощью усиленного водоотлива не удалось, почему она после восьмилетней стройки была возведена на железобетонных кессонах. Несмотря на предварительно проведенную цементацию известняка потери на фильтрацию были настолько значительными, что потребовалась дополнительная цементация, которая длилась еще 13 лет. При этом ликвидация прорывов воды в одном месте всегда вызывала образование прорывов в другом. Во время бурения для цементации встречали трещины до 1 м шириной, через которые вода устремлялась в количестве 2 м³/сек. После многочисленных неудач значительные

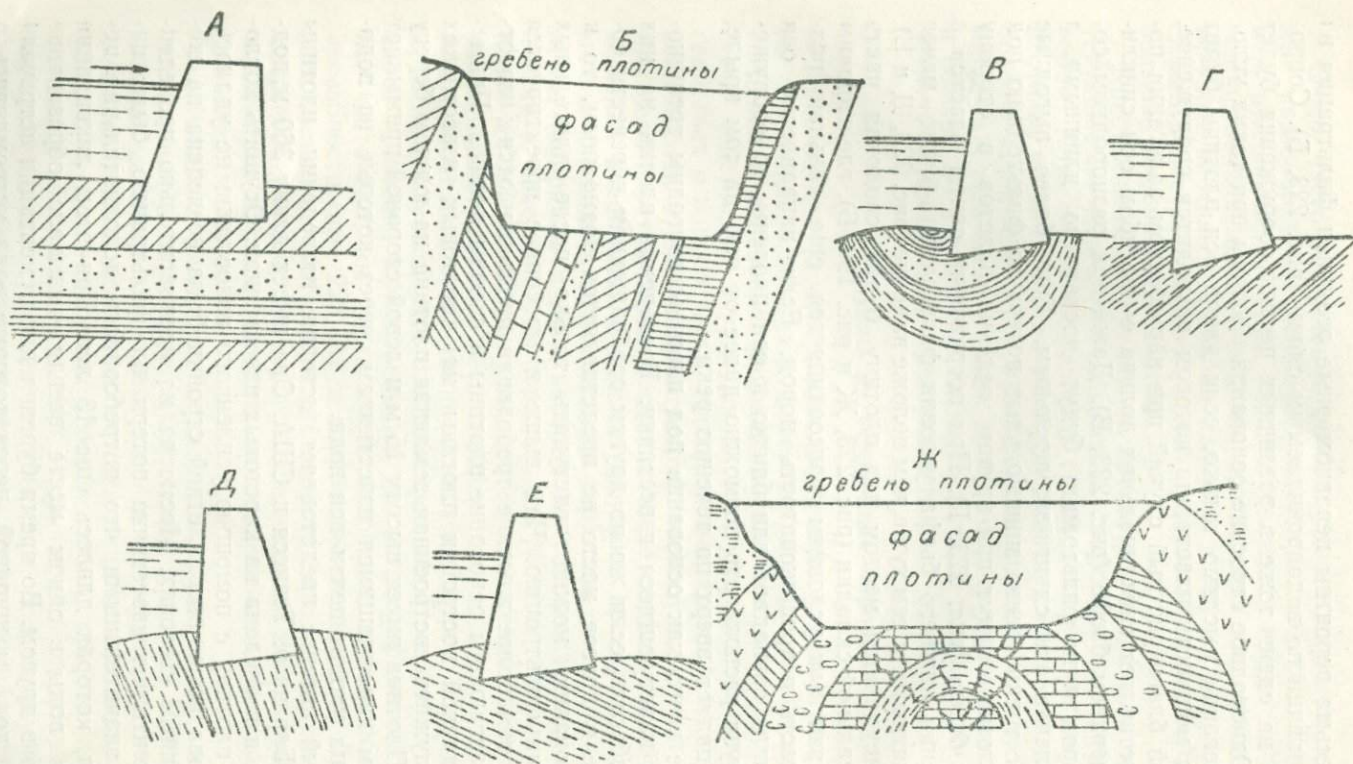


Рис. 223. Различные инженерно-геологические условия возведения плотин в зависимости от условий залегания осадочных горных пород.

утечки удалось прекратить только путем нагнетания в буровые скважины жидкого асфальта, под давлением в 14 атм. При средней ширине трещин в 5—7 см асфальт распространялся на 100 м от скважины.

Для уплотнения трещиноватых пород, кроме цементации и асфальтизации, пользуются также иногда способом глинизации или силикатизации. Последний метод применим лишь к гравелистым пескам и песчаникам; кроме того, он очень дорог для укрепления грунтов под плотины. Как временная мера, в процессе производства работ часто применяется способ искусственного замораживания горных пород.

Гипсы и содержащие их в большом количестве породы совершенно непригодны в качестве основания под плотины, так как выщелачивание им присуще еще в большей степени, чем известнякам. Присутствие таких пород в створе плотины может быть допущено только при условии, что они будут полностью изолированы от подземных вод. При благоприятном соотношении пород, залегающих ниже основания плотины, этого иногда можно достигнуть дорого стоящим способом битумизации.

Примером катастрофического исхода сооружения плотины на загипсованных породах служит прорыв плотины около Лос-Анжелоса в Калифорнии. Основанием плотины служили сланцы с прослоями гипса до нескольких сантиметров мощностью, которые полностью были выщелочены просачивающейся водой. В результате произошли большие осадки и прорыв плотины.

Большинство песчаников представляет собой достаточно устойчивое основание под плотины, причем наиболее подходящими под высокие плотины являются мелкозернистые массивные крепкие разновидности. Однако, песчаники большей частью бывают трещиноватыми и поэтому почти всегда требуют предварительной цементации. При сооружении невысоких земляных плотин в Донбассе на трещиноватые песчаники предварительно накладывают пластырь из глины или бетона. Отсутствие карстовых явлений в песчаниках делает их в отношении фильтрации более надежным основанием, чем известняки.

Слабощементированные конгломераты и песчаники как основание под плотины обычно малоустойчивы, а при наличии песчаных прослоек становятся опасными, так как может произойти вымыв песчаных частиц, что повлечет за собой заметные осадки и деформацию тела плотины. Используются конгломераты в большинстве случаев только как основание под невысокие земляные плотины. Под более крупные сооружения могут быть пригодны лишь крепкие конгломераты и песчаники, сцементированные кремнеземом.

Мергели водоупорны и в отношении фильтрации сомнений не вызывают. Несущие способности их колеблются в широких пределах, в зависимости от процентного содержания в них извести. Так как, кроме того, мергели быстро выветриваются и, размягчаясь в воде, дают плоскости скольжения, то, для избежания

возможного смещения, под плотиной устраивают один или несколько зубов, обеспечивающих устойчивость сооружения. Используются мергели как основание под невысокие каменные или бетонные и более высокие земляные плотины.

Плотные глины водонепроницаемы и являются хорошим основанием для невысоких плотин. Под высокие массивные плотины они мало пригодны, так как склонны давать неравномерные осадки и образуют опасные плоскости скольжения.

При большой мощности аллювиальных отложений возводить плотину на коренных породах экономически невыгодно. В этих случаях плотины строят на рыхлых, в той или иной мере фильтрующих аллювиальных образованиях. Такое основание является наименее благоприятным, так как плотины на нем заведомо подвержены осадкам и неизбежны потери воды вследствие филь-

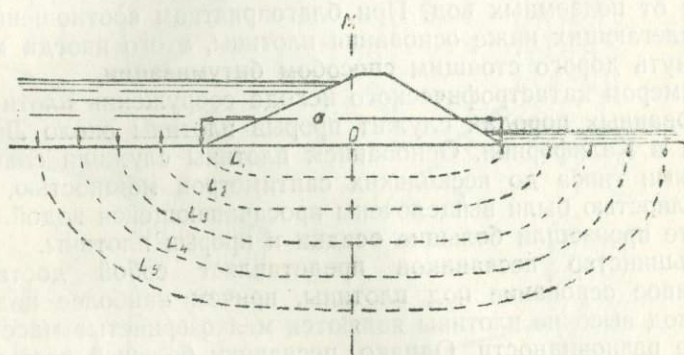


Рис. 224. Пути фильтрации под плотиной, построенной на водонепроницаемых грунтах.

трации под плотиной. В каждом отдельном случае вопрос возведения плотины на аллювии считается разрешенным правильно, если деформация тела плотины во время осадки не достигает разрушительных размеров, а скорости фильтрации в основании ее меньше предельных, т. е. таких, при которых происходит вымыв грунта из-под плотины.

Большой опыт строительства плотин на песчаных основаниях в Индии свидетельствует, что земляные плотины с широким основанием являются наиболее удачной конструкцией в этих инженерно-геологических условиях. Они менее других конструкций чувствительны к осадкам, а с увеличением ширины возрастают пути фильтрации, что при тех же градиентах ведет к уменьшению скоростей.

Схематично пути фильтрации воды под плотиной, построенной на водонепроницаемом грунте, можно представить себе в виде эллипсов, большая горизонтальная ось самого малого из кото-

рых равна ширине плотины a (рис. 224). Из схемы видно, что каждая частица воды, инфильтрующаяся в верхнем бьефе, сначала погружается в грунт, затем на некоторой глубине проходит под плотиной и в нижнем бьефе снова подымается вверх, эксфильтруясь на таком же расстоянии от тела плотины, на каком она инфильтровалась. Таким образом видно, что чем дальше от плотины инфильтруется вода, тем более длинный путь она совершает. Следовательно наибольшими скоростями обладают частицы воды, инфильтрующиеся у самой плотины и эти пути будут тем короче, чем уже флютбет плотины. Кроме увеличения ширины плотины, мероприятиями, ведущими к удлинению путей фильтрации, будут: устройство одного или нескольких глубоких зубов, закладываемых под плотиной по возможности до коренных пород, и накладка водонепроницаемого пластыря в верхнем бьефе.

Для того, чтобы при выходе фильтрационного потока в нижнем бьефе в основании низового откоса не возникали сильные гидродинамические напряжения и не происходил вымыв грунта, здесь устраивают дренажи и обратные фильтры, которые должны снизить напор.

Некоторые плотины на рыхлых аллювиальных породах просуществовали в СССР уже более 150 лет и поныне успешно удерживают воду.

Примером таких плотин может служить плотина на Белоозерском заводе на Южном Урале и плотина на аллювиальных песках р. Лампади к северу от Брянска. Неудачным примером является Белоомутская бетонная плотина на р. Оке. Она была закончена в 1915 г., имела подпор до 3,5 м и вскоре после окончания была прорвана, причем грунт в основании был вынесен, а часть плотины снесена на 30 м вниз по течению. Исследования показали, что под плотиной залегали мелкозернистые пески-пльвуны, которые при получении дополнительного давления со стороны верхнего бьефа пришли в движение.

Одна из земляных плотин на р. Куре показывает, что плотины этого типа могут быть устойчивы не только на песчаных и глинистых грунтах, но и на еще менее устойчивых. Здесь пески перекрыты слоем торфа в 3,5—4 м, выемка которого сильно удорожала строительство. Поэтому было решено плотину насыпать непосредственно на торф, сделав лишь в средней части глиняный замок, врезанный в подстилающий торф песок, и забить два шпунтовых ряда по краям плотины.

Через год после окончания плотины осадки в ней достигли 10% от ее высоты и в теле ее образовались продольные и поперечные трещины, которые заливались глиной. Это был опасный момент в жизни плотины, которая после этого работает исправно. Исследования показали, что мощность торфа уменьшалась в два раза, а коэффициент фильтрации в 0,78 м/сутки для неуплотненного торфа сократился до 0,04 м/сутки.

КАНАЛЫ

Особенности инженерно-геологических исследований
под каналы

Судоходные каналы проводятся через перешейки, разделяющие большие водные пространства, и для расширения внутренних водных путей сообщения. В этом случае с помощью каналов соединяют реки, отделенные водоразделами, а иногда принадлежащие к бассейнам различных морей. Каналы служат также для обхода бурных озер или неудобных для судоходства участков рек. В последнем случае они подразделяются на открытые и закрытые плотинами, на которых возводятся специальные сооружения — шлюзы, служащие для поднятия пароходов с пониженного участка на повышенный или для опускания. Озера используются часто как водохранилища для регулярного питания сооружаемых каналов.

Устройство судоходных каналов является одной из самых древних областей инженерного искусства. История знает много очень древних грандиозных сооружений этого типа. Так, например, работы по сооружению канала, соединяющего Нил с Красным морем, были начаты в XIV веке до нашей эры. После того как 120 000 человек погибло на земляных работах, канал был заброшен в 610 г. до нашей эры. Окончили его при Птолемее II, когда для шлюзов были сконструированы подвижные ворота. Также с древних времен каналы используются для целей орошения в сильно засушливых и полупустынных районах. С развитием строительства гидроэлектростанций сооружаются деривационные каналы, длина которых обычно измеряется километрами. Кроме того, каналами пользуются при осушении заболоченных пространств.

В зависимости от топографических и геологических условий, каналы проводят: 1) в выемках, 2) в полувыемках и полунасыпях и 3) в насыпях; очень часто каналы заменяют туннелями.

После того, как намечено направление канала, производят комплексную инженерно-геологическую съемку, выясняя основные геологические и гидрогеологические черты строения полосы, прилегающей к трассе канала. На основании полученных данных проектируют разведочные работы, которые должны дать вполне конкретные сведения об условиях залегания, составе, характере и степени водопроницаемости пород, развитых вдоль трассы канала. Одновременно производят гидрогеологические наблюдения, позволяющие установить положение уровня подземных вод.

Разведку трассы канала выполняют обычно шурфами или скважинами, которые располагают по оси проектируемого сооружения. Расстояние между отдельными выработками выбирают в зависимости от степени сложности геологического строения и гидрогеологических условий. На участках трассы канала, где коренные породы выходят на поверхность или прикрываются не-

сплошным покровом наносов небольшой мощности, шурфы проходят только на скрытых под наносами площадях. В районах развития мощных покровных отложений, строение которых не может быть с достаточной ясностью установлено инженерно-геологической съемкой, проходят шурфы или скважины на расстоянии 50—100 м друг от друга; при однообразном строении наносов интервалы между выработками увеличивают до 250—500 м.

При разведке широких магистральных каналов, скважины располагают не только по их оси, но также и по перпендикулярным к ней поперечникам. Разведки на поперечниках производятся там, где требуется более детальное изучение наносов и подстилающих их коренных пород. Для получения геологических профилей по поперечникам судоходных каналов часто проходят до десятка разведочных выработок, в то время как для ирригационных и деривационных каналов средней ширины при простом геологическом строении можно ограничиться 2—3 скважинами. Расстояния между поперечниками принимаются в зависимости от сложности геологического строения.

Глубина шурфов и скважин по трассе должна быть такой, чтобы грунты были вскрыты не менее чем на 5—6 м ниже проектного дна канала. То же относится к подошве насыпи для каналов, проводимых в насыпях или в полувыемках и полунасыпях.

Особенное внимание уделяется косогорным участкам трассы канала, которые вызывают опасения в отношении их устойчивости. Здесь производят специальные исследования с постановкой опытных работ и стационарных наблюдений, позволяющих установить, имеются ли тут свежие или древние оползни, а также в какой мере реальна опасность возникновения оползней в результате подрезки склона каналом и вследствие просачивания в грунт воды, которую будет транспортировать канал. Не менее тщательно разведываются места развития сильно фильтрующих и закарстованных пород.

В местах пересечения каналами рек, оврагов и балок, где намечается возведение искусственных сооружений, как мосты, акведуки и дюкеры, а также и в местах других специальных сооружений — шлюзов, быстротоков, перепадов и т. п., инженерно-геологические исследования производятся не только в зависимости от геологического строения, но и от характера конструкции каждого сооружения.

В районах мелкой оросительной или дренажной сети разведочные выработки проходят не вдоль отдельных каналов, а по продольным и поперечным профилям исследуемых участков.

Специальные гидрогеологические и геотехнические исследования и опыты, проводимые при инженерно-геологических работах на трассах каналов, имеют задачей получить цифровые показатели, характеризующие водопроницаемость пород (коэффициент фильтрации) и их устойчивость в откосах каналов (трение и сцепление). На основании этих данных уточняется тип противofильтрационной облицовки канала и проектируется его попереч-

ный профиль. В районах развития просадочных грунтов, как лес и лесовидные суглинки, проводят специальные замачивания опытных участков, чтобы установить размеры деформаций дна и откосов каналов, которые можно ожидать после заполнения водой. Кроме этого производятся определения прочих важнейших физико-механических и химических свойств грунтов с целью установления норм допускаемых нагрузок на грунты в основании искусственных сооружений и выяснения влияния солей, встречающихся в грунтах, на прочность и долговечность бетонных сооружений.

В результате инженерно-геологических исследований получают инженерно-геологические карты, как всей трассы, так и под отдельные сооружения. Профили по оси канала и по поперечникам дополняют карты и совместно с результатами опытных работ дают все необходимые данные для выбора окончательной трассы канала, оценки инженерно-геологических условий на трассе, для проектирования канала и подсчета земляных и других строительных работ, выполнение которых потребуются. Оценка инженерно-геологических условий производится, главным образом, для установления возможной фильтрации воды из канала, устойчивости откосов и размеров деформаций в результате просадок макропористых грунтов после их увлажнения. В последнем случае во время производства инженерно-геологических исследований ведут наблюдения за просадками и специально вырытых опытных котлованах.

Фильтрация воды из каналов

Вопрос фильтрации воды из каналов является одним из самых важных, так как очень часто каналы проходят в сильно фильтрующих породах. В то же время, потери на фильтрацию зависят не только от коэффициента фильтрации грунтов, слагающих откосы и дно канала, но также от гидрогеологических условий и формы поперечного сечения канала. Одним из наиболее типичных случаев будет такой, когда зеркало грунтовых вод лежит на значительной глубине, т. е. фильтрация происходит без подпора в бесконечность. Для определения в этих условиях потери на фильтрацию из канала трапециoidalного сечения на протяжении в 1 м, В. В. Ведерников дает формулу

$$Q = k_{\phi} \left(B + 2H \frac{k}{k_1} \right) \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (29)$$

где k — коэффициент фильтрации грунта в м/сек; B — ширина канала поверху, H — глубина воды в канале, k и k_1 — полные эллиптические интегралы первого рода, получаемые из графика.

Формула В. В. Ведерникова базируется на гидромеханическом рассмотрении потска фильтрационных вод и дает наиболее точные результаты. Однако для грубых подсчетов размеров фильтрации

до последнего времени пользуются эмпирическими формулами, среди которых самой распространенной является формула Моритца. Согласно этой формуле, количество фильтрующей через стенки и дно канала воды на 1 км длины равно:

$$q = 0,85 k_0 \sqrt{\frac{Q}{v}} \text{ м}^3 \text{ сек.} \quad (30)$$

где Q — расход канала в м³/сек., v — скорость в м/сут. и k_0 — эмпирический коэффициент поглощения Моритца, который для различных грунтов имеет следующие значения:

плотная глина	0,09
глина	0,09—0,12
суглинок	0,12—0,18
обыкновенная почва	0,18—0,27
супесь	0,27—0,45
песчаная почва	0,45—0,55
гравий	0,55—0,80 до 0,90

Для более точных определений потерь на фильтрацию пользуются непосредственными измерениями в наливных шурфах по методу Болдырева. Однако, исследования на проектируемом канале показали, что данные по шурфам еще далеки от действительных, что объясняется большой разницей соотношений между объемом воды и фильтрующей поверхностью в шурфах по сравнению с этими соотношениями в каналах нормального профиля.

Для получения вполне надежных цифровых данных фильтрации из канала пользуются наблюдениями потерь из опытного котлована, поперечный профиль которого делается равным проектному сечению канала, а торцевые стенки бетонируются. Такой опытный бассейн был сооружен на одной из строящихся водных магистралей. Наблюдения в бассейне показали, что для лесовидных суглинков коэффициент поглощения Моритца равен только 0,044 вместо 0,120, который дает Моритц для суглинков. Кроме того было выяснено, что потери на фильтрацию из наливных шурфов в 13,4 раза больше, чем из канала проектного профиля. Установлено также заметное уменьшение потерь на фильтрацию с течением времени.

В зависимости от характера фильтрующих пород и гидрогеологических условий, вырабатываются мероприятия по борьбе с утечкой воды из каналов. Водонепроницаемость превращенных выветриванием в щебень изверженных пород, а также крупнообломочных несцементированных осадочных пород, как галька, гравий и крупнозернистый песок, достигается цементированием под давлением или бетонированием дна и откосов канала. Борьба с фильтрацией в среднезернистые и мелкозернистые водопроницае-

мые грунты может также выполняться бетонированием. Опыт исследований, однако, показал, что для этой цели с наименьшим успехом может применяться заложение по всему периметру хорошо перемятого и укатанного слоя глины толщиной в 0,5 м, прикрытого сверху слоем суглинка толщиной 0,6 м по дну канала и 1,0 м на откосах.

Фильтрация в разбитые сбросами сильно трещиноватые, а также пористые изверженные или скальные осадочные породы устраняется расчисткой и заделкой бетоном отдельных более крупных трещин. Сильно раздробленные участки вынимаются с последующим заполнением выемки глиной или бетоном.

Особенные трудности представляют участки, сложенные растворимыми горными породами. Соляные и гипсовые залежи, гипсеносные пласты и сильно трещиноватые закарстованные известняки создают условия, в которых проведение канала часто становится практически невозможным. В таких местах даже заделка трещин и пустот глиной и бетоном с последующей бетонной облицовкой не всегда может предотвратить утечку воды из канала. Уходящие из канала воды повышают уровень подземных вод, в результате чего растворение и разрушение пород в основании канала происходит еще быстрее. В дне образуются провалы и воронки, в которые уходит огромное количество воды, а бетонная одежда канала окончательно разрушается.

При прочих равных условиях, потери воды из канала будут тем больше, чем глубже под дном канала находится зеркало грунтовых вод. Разрушающая механическая работа просачивающейся или поступающей в трещины воды также при этом возрастает, так как градиент и скорости увеличиваются. Более благоприятные условия создаются, если зеркало подземных вод или их пьезометрический уровень находятся выше дна канала. В этом случае фильтрация может происходить только по верхней части периметра поперечного сечения. Наиболее благоприятным случаем будет такой, когда подземные воды выше уровня воды в канале или имеют более высокий пьезометрический уровень. При таких гидрогеологических условиях происходит постоянное подпитывание канала за счет подземных вод. При окончательном выборе трассы канала очень важно учитывать это соотношение уровней воды в канале и в пересекаемых им породах. Иногда может оказаться более выгодным остановиться на варианте с более длинной трассой канала или на варианте с более глубокими выемками, вызывающими увеличение объема земляных работ, но получить дополнительное подпитывание канала за счет подземных вод. Понятно, что для этого необходимо иметь ясное представление о гидрогеологических условиях сравнительно широкой полосы вдоль трассы канала, намечаемой по условиям рельефа местности. Правильно и своевременно организованные гидрогеологические исследования дадут необходимый материал, который избавит от дорогостоящих ошибок, неизбежных при окончательном выборе трассы канала вслепую.

Устойчивость откосов канала

Выбор формы поперечного сечения канала является самой ответственной частью проекта и находится в непосредственной зависимости от инженерно-геологических условий вдоль трассы канала. С технико-экономической точки зрения более совершенным профилем канала будет тот, у которого круче боковые откосы.

Самым идеальным сечением была бы полуокружность или сечение с вертикальными берегами. Однако, инженерно-геологические условия редко позволяют придать каналу прямоугольное поперечное сечение. Обычно сечение имеет трапецидальную форму с более или менее крутыми откосами. Правильно запроектированным будет самый крутой откос, обеспечивающий устойчивое состояние. Канал с более пологими откосами потребует ничем не оправданного увеличения объема земляных работ, а при крутизне откосов, не обеспечивающей устойчивого равновесия пород, произойдет оползание их и разрушение канала. Таким образом, как излишняя перестраховка, так и неразумное стремление в целях экономии придать откосам недопустимую крутизну приводят к печальным последствиям. Чем в более глубокой выемке проходит канал, тем большие размеры могут принять оползания как сухих, так и подводных откосов. Поучительный пример оползаний откосов грандиозных размеров дает Кулебрская выемка Панамского канала. Она находится на водоразделе Панамского перешейка, где абсолютные отметки на трассе канала достигают 95 м. Канал проходит здесь вдоль оси синклинали складки, ширина которой больше 1,5 км. В основном складка сложена чередующейся толщей пород, которая довольно устойчива и больших опасений в отношении оползней не вызывала. Однако, осевая часть складки, с которой совпадает трасса канала, оказалась сложенной тонкозернистыми глинистыми песками. Огромные массы этих песков сползали в выемку канала, в результате чего пришли в движение все отложения синклинали. Вместо проектного профиля с довольно крутыми склонами, в 1917 г. поперечное сечение канала приняло вид огромной выемки, ширина которой в четыре раза больше проектной (рис. 225). Все это потребовало дополнительного извлечения сотен миллионов кубических метров породы, а оползни продолжают и до настоящего времени (рис. 225).

Всякая глубокая выемка сильно нарушает равновесие грунтов, так как на месте канала они разгружаются, продолжая испытывать давление со стороны откосов, которое на дне канала направлено снизу вверх. Если откосы и дно сложены слабыми породами, то происходит оползание откосов с одновременным поднятием дна (рис. 226). В результате такой деформации огромных размеров, 18 и 19 сентября 1915 г. в Кулебрской выемке Панамского канала образовался остров там, где накануне глубина воды была 9 м.

После выемки породы из канала, проходящего в болотистых или слабых глинистых грунтах, вследствие разгрузки может происходить выжимание породы из-под откосов и выпучивание в дне канала. Увеличение влажности грунтов повышает их пластичность, что еще более способствует выпиранию. Если канал проходит вдоль крутого склона, сложенного глинами, то создаются особенно неблагоприятные условия, так как, в результате увлажнения глин, легко может происходить сползание нагорного откоса. При падении пород в сторону канала инженерно-геологические условия могут стать настолько трудными, что проведение канала окажется практически невозможным и потребуются изменение направления трассы или замена канала туннелем.

Самыми устойчивыми являются каналы, проведенные в изверженных или в скальных нерастворимых осадочных породах. Устойчивость откосов в таких каналах будет зависеть только от степени трещиноватости пород и направления трещин. При падении трещин отдельности или тектонических трещин в сторону канала, по ним может происходить выпадение отдельных глыб и массивов. Особенно часто такие случаи будут иметь место в породах, заметно затронутых процессом выветривания. В них вдоль трещин накапливается глинистый материал, который служит как бы смазкой, облегчающей скольжение, особенно при увлажнении водой.

Своеобразные инженерно-геологические условия наблюдаются при проведении каналов в макропористых лессовых грунтах, покрывающих мощным покровом обширные пространства Средней Азии, Северного Кавказа, Закавказья и юг Европейской части СССР. Геотехническими особенностями строения лессов являются: 1) мелкозернистый гранулометрический состав (45—50% по весу глинистых частиц диаметром $< 0,005$ мм и 55—50% пылеватых и мелкозернистых песчаных частиц диаметром 0,1—0,005 мм; более крупные фракции вообще отсутствуют или встречаются в ничтожном количестве); 2) высокая пористость (до 50—55%, причем 15—20% пор приходится на долю макропор диаметром до 2—3 мм); 3) вертикальное расположение порканалцев, обуславливающее свойство лессов держать вертикальные откосы и способствующее быстрому проникновению воды в вертикальном направлении; 4) значительное содержание растворимых в воде солей.

В воздушно-сухом состоянии лессы весьма прочны и устойчивы, но при увлажнении, достигающем 18—23%, резко меняют свои свойства, причем в них начинают образовываться смещения крутых откосов в виде обвалов и оползней. При дальнейшем насыщении водой, лессы теряют свою макропористую структуру, приходят в разжиженное состояние и оплывают даже на склонах в 20—25°. Одновременно происходит уплотнение лессов, сопровождающееся заметным уменьшением объема, которое выражается в виде просадок, как вдоль новых каналов, так и на орошаемых полях. Явлению просадок способствует также растворение угле-

кислых солей и вымыв частиц грунта. Лессы, залегающие ниже уровня грунтовых вод и находящиеся в состоянии полного увлажнения, настолько уплотнены, что просадок не дают.

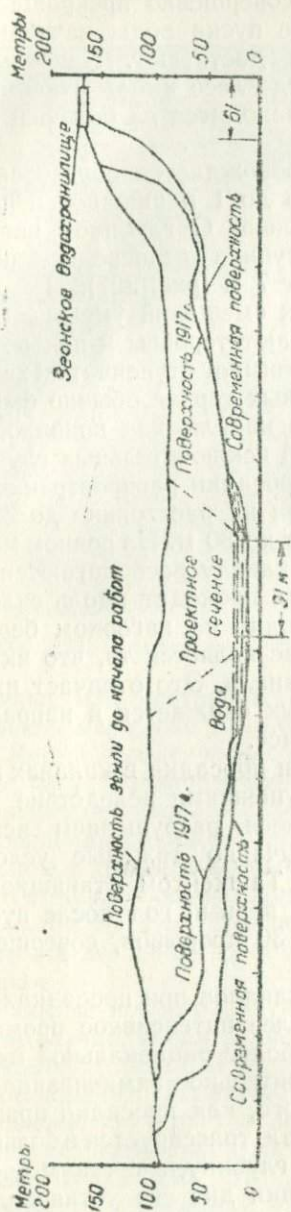


Рис. 225. Кутебская выемка Панамского канала.

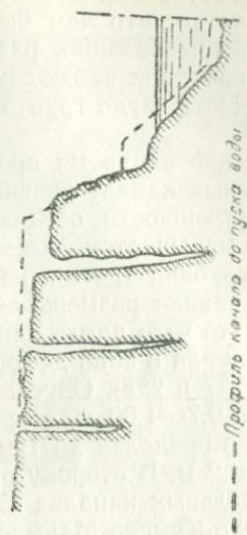


Рис. 227. Просадки в берегу канала, проведенного в лессе.



Рис. 228. Деформации поперечного сечения канала в результате оползня, сопровождающегося выпиранием дна.

Просадки каналов, проведенных в лессовых грунтах, проявляются в виде оседания дна и берегов. Начинаются они часто

через 3—4 дня после пуска воды, хотя иногда наблюдались случаи, что просадки происходили только по истечении нескольких месяцев. С течением времени явление образования провадов постепенно затухает и в конце концов совершенно прекращается. Характерно то, что чем быстрее после пуска воды начинаются просадки, тем больших размеров они достигают. Наибольшие размеры провадов наблюдаются там, где лесс имеет максимальную мощность и где грунтовые воды находятся на большей глубине.

Опускание во время провадов сопровождается образованием параллельных каналу зияющих трещин до 1 м шириной и нарушением сплошности оседающего массива. С глубиной ширина трещин уменьшается, известная доступная непосредственному промеру глубина трещин не превышает 7 м (рис. 227). При удалении от канала размеры вертикальных смещений уменьшаются, в результате чего вдоль канала возникают террасы и поперечное сечение канала в зоне деформаций принимает ступенчатый характер (рис. 227 и 228). Опускание отдельных террас обычно бывает не больше 0,7—1,00 м, а провадки дна канала, как правило, колеблются в пределах до 1 м и только в исключительных случаях достигают 2 м. В сторону от канала провадки распространяются на оросительных каналах Средней Азии на расстояние до 30 м, а на Терско-Кумско-Манычском канале до 80 м. На ровном месте провадочные террасы по отношению к каналу располагаются более или менее симметрично. Если канал проходит вдоль склона, то провадки более интенсивно происходят на нагорном берегу. Характерной чертой провадочных террас является то, что их поверхность получает уклон в сторону канала. Это отличает их от оползневых террас, поверхность которых снижается в направлении, обратном движению грунтовых масс.

При пересеченном рельефе местности провадки в каналах приводят к прорывам с серьезными разрушениями вследствие размыва. Такие явления, сопровождающиеся разрушением искусственных сооружений, создали чрезвычайно тяжелые условия эксплуатации канала Новый Джун под Ташкентом, ставящие часто под угрозу его существование. За первый год после пуска, здесь на участке в 15 км произошло 30 прорывов, совершенно прекративших работу канала.

Облицовка одетых деривационных каналов при провадках нарушается, что влечет за собой еще более интенсивное промачивание и размыв лессовых грунтов. Наиболее рациональной мерой борьбы с провадками является предварительное замачивание канала и покрытие его одеждой после того, как провадки практически прекратятся. В этом случае канал трассируется в больших выемках, но вынимается не на полную глубину, а с таким расчетом, чтобы после максимальной провадки дно его установилось на проектной высоте. Такой метод был применен при строительстве деривационного канала на Чирчикской гидроэлектростанции у Ташкента.

Все искусственные сооружения на канале, проходящем в просадочных грунтах, следует располагать по возможности в тальвегах боковых балок и оврагов, пересекающих трассу канала. Здесь можно ожидать, что под влиянием вод, инфильтрующихся из вре-

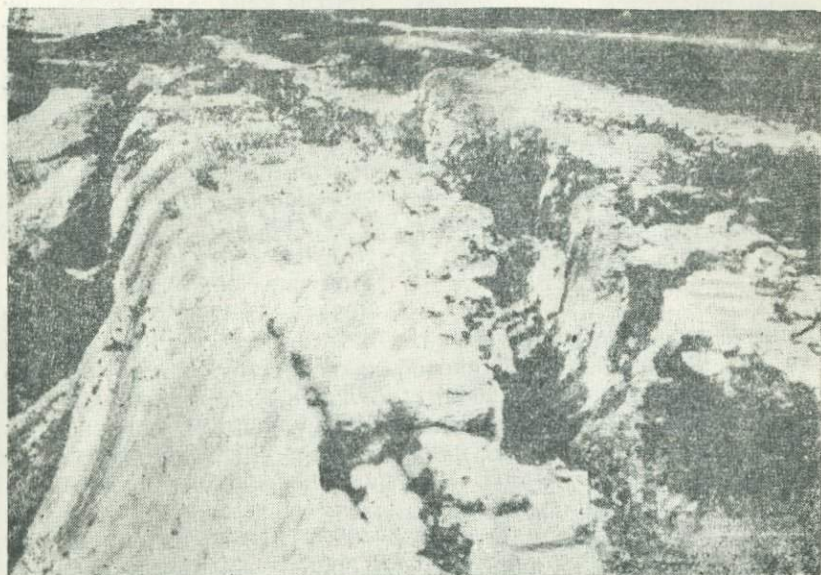


Рис. 228. Просадочные террасы на Терско-Кумско-Маньчском канале.

менных или постоянных водотоков, процесс просадок в значительной мере уже закончился.

Кроме геологического строения и геотехнических свойств пород, на устойчивость каналов в неменьшей мере влияют гидрогеологические условия. Особенно большое значение они имеют при проведении каналов в нескальных породах, физико-механические свойства которых в сухом и увлажненном состоянии заметно различаются между собой. При этом весьма существенным фактором является то, что устойчивость подводных откосов во время производства земляных работ будет иная, чем после пуска воды в канал.

Самые неблагоприятные условия проведения канала создаются в случае, когда в дне и откосах или только в откосах выемка вскрывает мощный водоносный горизонт, приуроченный к рыхлым породам. Развивающееся в этом случае гидродинамическое давление фильтрационного потока совпадает в каждой точке депрессионной линии с направлением касательной к ней в этой точке (рис. 229). Это давление выносит отдельные частицы грунта, что приводит к деформациям и обрушению откосов канала. Чем мельче частицы и чем больше гидравлический градиент, тем интенсивнее происходит вымыв и разрушение. Песча-

ные грунты водоносного слоя при таких условиях могут иметь состояние пльвуна и тогда проведение канала без принятия специальных мер становится невозможным.



Рис. 229. Давление фильтрующегося потока на откос канала до наполнения его водой.

искусственного понижения зеркала подземных вод до уровня ниже дна котлована. Этот способ в последнее время широко используется при рытье глубоких котлованов под шлюзы, сухие доки и другие самые разнообразные сооружения. В основном он заключается в том, что из ряда буровых скважин производят непрерывную откачку воды. Учитывая коэффициент фильтрации пород, скважины располагают на таких расстояниях, чтобы их депрессионные воронки (стр. 295—296) пересекались между собой. Это приводит к образованию общей для всех скважин депрессионной воронки, ферма и площадь которой будут соответствовать распложению трубчатых колодцев, из которых производится откачка. После того, как уровень зеркала подземных вод опустится ниже проектного дна канала или котлована, земляные работы можно вести обычным способом без опасения оплывания откосов вследствие выноса частиц грунта.

Способ искусственного понижения уровня подземных вод имеет многочисленные технические и экономические преимущества. Земляные работы при применении этого способа выполняются так же, как и в сухих грунтах. Это дает возможность придавать откосам крутизну, свойственную сухим или слабо влажным грунтам. В то же время можно путем использования обычных экскаваторов для сухих грунтов выполнять работы с нужной быстротой. Особенно важным преимуществом этого способа будет также то, что он дает возможность обойтись без подводного бетонирования и применять литой или трамбованный бетон, а в случае надобности — железобетон. Кроме того, при этом способе канал на всем сечении становится легко доступным и создаются благоприятные санитарные условия для рабочих.

Вследствие больших преимуществ временное искусственное понижение уровня подземных вод широко применялось в СССР при строительстве канала имени Москвы, Верхне-Волжских гидроузлов и на других стройках.

Избежать гидродинамического давления потока на откосы канала во время производства земляных работ можно созданием противодействия со стороны выемки, т. е. производя разработку грунта без водотлива при помощи землечерпательных машин.

Начиная с конца прошлого столетия, для достижения этой же цели начали применять метод временного

Иногда при производстве земляных работ в плавучих грунтах их закрепляют методом искусственного замораживания или химическим путем. Эти методы уступают в технико-экономическом отношении способу искусственного понижения уровня подземных вод. С достаточной выгодой они могут применяться только на сравнительно небольших площадях.

Если естественный уровень зеркала подземных вод ниже уровня воды в канале или равен ему, то после заполнения канала подземные воды не смогут поступать в него и откосы не будут испытывать гидродинамического давления в сторону канала. Таким образом при нормальном для данного грунта угле откоса, с этого момента устойчивостью откоса в подводной части обеспечивается и работы по временному понижению подземных вод могут быть приостановлены.

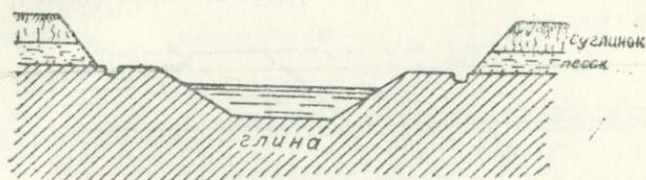


Рис. 230. Поперечное сечение канала в случае выхода подземных вод выше уровня воды в канале.

Менее благоприятные инженерно-геологические условия создаются, когда уровень зеркала подземных вод выше проектного уровня воды в канале. В этом случае и после заполнения канала водой условия устойчивости подводного откоса остаются неблагоприятными. Надводная часть откоса все время остается увлажненной и находится под действием гидродинамических сил. Устойчивость откосов может быть достигнута только приданием им более пологого наклона, а для надводной части потребуется устройство дренажа и бермы. Такие же мероприятия для придания устойчивости надводному откосу потребуются и в том случае, если водоносный горизонт выходит выше уровня воды в канале (рис. 230).

Каналы в полувыемках и полунасыпях и каналы в насыпях сооружаются в тех случаях, когда неблагоприятные геологические и топографические условия не позволяют провести их в выемках. В дамбах сооружаются также каналы от берега через бар для поддержания судоходства в дельтах рек. Канал в дамбах начинается от устья одного из боковых рукавов дельты, благодаря чему вода по выходе из рукава продолжает течь по суженному сечению, не теряя скорости и по достижении бара размывает его, образуя канал, через который выносимые рекой наносы уносятся дальше в море. Преимущество использования боковых рукавов заключается в том, что бар отстоит от них ближе, чем от главного русла. Это делает участок канала в дамбах короче,

а все сооружение более дешевым. Кроме того, количество наносов, выносимых через боковые рукава, меньше, а следовательно и образование нового бара будет протекать медленнее.

В зависимости от характера дамб и условий их работы, для возведения их используются самыми разнообразными грунтами: от глинистых до галечников. Так, например, дамбы верхнего деривационного канала Чирчикстроя около Ташкента возводились из тщательно уплотненных лессовых грунтов и галечников. Особенно плотную устойчивую массу дает смесь глины с песком. Совершенно непригодны для использования при сооружении насыпей иловатые и засоленные мелкозернистые грунты, легко превращающиеся в плывуны.

Каждая дамба будет в той или иной мере фильтровать через себя воду из канала, причем в ней образуется линия фильтрации AD , ниже которой тело насыпи будет насыщено водой (рис. 231).

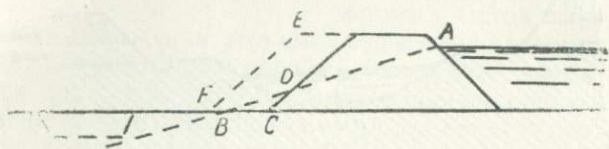


Рис. 231. Зависимость ширины насыпи-дамбы от кривой фильтрации.

Участок DC наружного откоса дамбы будет увлажнен и склонен давать оползни и оплывины. При значительном гидравлическом градиенте у основания дамбы будет происходить вымыв грунта, который может привести к образованию отверстий и прорыву дамбы. Если ширину дамбы увеличить до EA (рис. 231), т. е. так, чтобы линия фильтрации не выходила за пределы ее основания, то наружный склон и значительная часть дамбы все время будут сухими. Опасность образования оползней и промоин отпадает. Для понижения линии фильтрации и для усиления устойчивости дамб у подошвы откосов часто устраивают опорные призмы из каменной наброски с обратным фильтром.

При проведении канала на косогоре, нельзя засыпать дамбами выходы подземных вод, так как это вызовет их подпруживание, следствием чего могут быть оползни или сплывины косогора. Только тщательно проработанная схема дренажа может явиться в таком случае выходом из положения.

Если в основании канала в насыпях-дамбах лежит водопроницаемый слой небольшой мощности, то можно полностью устранить потерю воды из канала через его дно. Для этого достаточно вдоль дамб прорыть канавы до водоупорного слоя и заполнить их глиной или бетоном.

Из всего сказанного об инженерно-геологических условиях, влияющих на устойчивость откосов каналов, видно, что правильный выбор крутизны откосов является очень сложной задачей. Правильное решение этой задачи возможно только при знании геологических и гидрогеологических условий, геотехнических

свойстве грунтов и тех условий, в которых каналы будут работать. При проведении каналов в районах, подверженных землетрясениям, необходимо также учесть горизонтальную составляющую сейсмической волны.

Искусственные сооружения на каналах

Главнейшими искусственными сооружениями на каналах являются шлюзы, акведуки и мосты.

Шлюзы служат для спуска судов с более высокого уровня на более низкий и для поднятия обратно. Заложение фундаментов шлюзов представляет особый интерес с точки зрения разнообразия гидрогеологических условий, в которых оно проводится. Особенно наглядным примером правильного учета местных

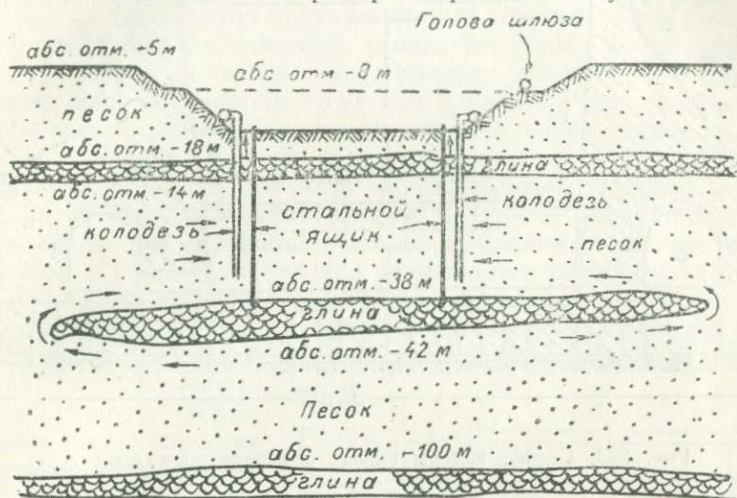


Рис. 232. Гидрогеологические условия заложения морского шлюза на канале.

инженерно-геологических условий при составлении конструктивного проекта шлюза может служить рис. 232. Из него видно, что местное население получает пресную воду из водоносного горизонта, залегающего под верхним слоем глин. В связи с этим встала серьезная опасность, что если глины будут прорезаны при сооружении шлюза, то произойдет засоление пресных вод морской водой из канала. Наличие на абсолютных отметках — 38—42 м линзы глины (рис. 232) позволило избежать этой серьезной опасности. Для этого потребовалось весь участок в 400 м длиной и 50 м шириной, предназначенный для сооружения шлюза, изолировать от водоносного горизонта помощью стального ящика, опущенного в линзу глины (рис. 232).

Так как основания шлюзов обычно приходится опускать ниже уровня грунтовых вод, то при этом часто пользуются методом временного искусственного понижения подземных вод. Если

камеры шлюза сложены скальными грунтами, то стенки их устраиваются в виде облицовки, как это выполнено на Днепровском шлюзе. При сооружении шлюзов в рыхлых грунтах их стенкам придают массивный профиль, причем в особенно слабых грунтах стены и днище камер выполняют связанными вместе (рис. 233). В противном случае во время возведения шлюза, вследствие неравномерных осадок и давления смежных полос днища, стенки будут наклоняться внутрь камеры, а разрезные части днища в сторону стен.

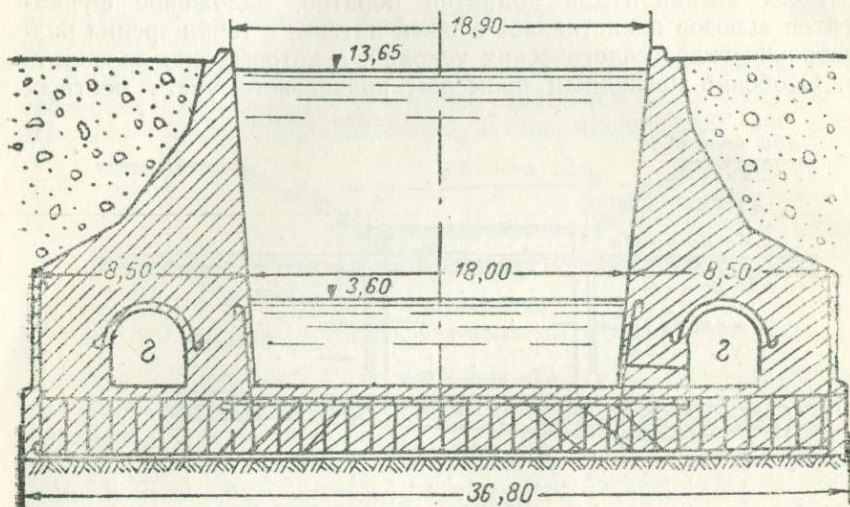


Рис. 233. Стенки камеры шлюза с неразрезным дном.

Пространство за стенкой шлюза в крайнем случае может быть заполнено очень слабым грунтом. Так, например, при постройке шлюза в гавани Нового Орлеана стенки были засыпаны илом, добытым землесосами со дна. Однако этого следует избегать, так как давление со стороны такого грунта только несколько меньше гидростатического давления жидкости соответствующего удельного веса.

Акведуки, т. е. мосты, по которым проводят каналы, устраиваются при пересечении трассой канала долин с постоянными или временными водными потоками. Особенно часто прибегают к сооружению акведуков при проведении деривационных каналов в горных и предгорных районах. Главная речная долина, вдоль которой трассируется канал, здесь часто принимает боковые долины с проходящими время от времени бурными селевыми потоками. Так, например, акведуки сооружались на верхнем деривационном канале Чирчикской ГЭС около Ташкента. Если расход боковых долин небольшой, то акведуки заменяют трубами или дюкерами.

Так как акведуки представляют собой тяжелые сооружения, то основания под фундаменты их опор должны быть сложены породами с высокой несущей способностью, т. е. крепкими коренными породами. В области размыва, т. е. там, где интенсивно проходят процессы глубинной эрозии, наносы обычно имеют небольшую мощность и на сравнительно небольшой глубине можно получить надежное основание под устои акведука. Глубина заложения фундаментов под акведуки будет обуславливаться не только мощностью делювиальных и элювиальных образований, которые необходимо полностью удалить, но также и условиями залегания коренных горных пород. Например, если акведук пересекает продольную или диагональную моноклинальную долину, то инженерно-геологические условия заложения фундаментов для каждого устоя будут различные. Правый устой (рис. 234) будет иметь вполне надежное основание, левый же необходимо будет опустить ниже, так как возможно сползание в сторону долины. Если же порода содержит глинистые прослойки, которые облегчают смещение, то потребуются очень глубокие заложения основания. Из рис. 234 видно, что ту же устойчивость левого устоя можно получить и при меньшей глубине заложения, но за счет удлинения акведука. Чтобы окончательно выбрать место для заложения устоев, необходимо установить, как быстро и в каком направлении размывается пересекаемый акведуком участок долины.

Если акведук пересекает долину, в которой происходит боковой размыв или отложение, то обнаружить коренные породы

близко к поверхности здесь удается редко. Только после изучения бурением, шурфованием и опытными работами мощности, условий залегания и физико-механических свойств наносов, можно будет в каждом отдельном случае выбрать конструкцию акведука и определить место и глубину, на которую наиболее целесообразно заложить устои.

Акведуки, сооруженные для пропускания селевых потоков, не должны своими устоями сужать поперечное сечение долины, так как в этом случае они могут подпрудить поток, который если снесет все сооружения, то начнет переливаться через верх, размывая и разрушая акведук и подходы к нему.

Мосты на каналах возводятся при пересечении их дорогами. От типа дорог и инженерно-геологических условий будет в каждом отдельном случае зависеть выбор конструкции мостов и типа фундаментов под опоры. Главнейшими из них будут:

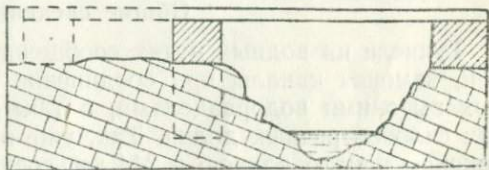


Рис. 234. Инженерно-геологические условия заложения устоев акведука или моста через моноклинальную долину.

сплошные фундаменты, опускные колодцы, кессоны и свайные основания.

Сплошные фундаменты можно закладывать только при неглубоком залегании достаточно прочного грунта без притока или при небольшом притоке подземных вод. Опускные железобетонные колодцы с режущим краем внизу применяются при слабых и водоносных грунтах без большого напора. Одновременно с выемкой породы происходит опускание колодца до надежного грунта, после чего он заполняется кладкой. Кессонные фундаменты используются главным образом при заложении опор в русле и при сооружении мостов через большие реки. В этом случае для более точного исследования физико-механических свойств грунтов опускают пробные кессоны. Такой кессон был опущен при сооружении железнодорожного моста через р. Волгу. К свайным основаниям прибегают обычно при возведении деревянных мостов на слабых и очень слабых грунтах. Опоры всех мостов, пересекающих каналы, должны иметь высоту, достаточную для пропуска под мостом судов при самом высоком стоянии воды в канале.

Все инженерно-геологические исследования под шлюзы, акведуки и мосты ведутся одновременно с исследованиями по трассе канала. При проектировании этих сооружений на крутых косогорах необходимо учитывать возможность образования оползней.

Глава XXII

ТУННЕЛИ

Общие сведения

Туннели на водных путях сообщения строятся с древних времен, заменяя каналы при соединении речных систем, разделенных высокими водоразделами, а также на неустойчивых участках склонов речных долин. Так, уже в 1679—1681 гг. на Лангедокском канале длиной в 244 км, соединяющем р. Рону с р. Гаронной, был построен Мальпасский туннель. Длина его равна 157 м, ширина 6,7 м, а высота 8,2 м. С развитием водных путей строительство туннелей на них принимает широкий размах и уже к середине прошлого столетия в одной Англии насчитывалось свыше 45 судоходных туннелей общей длиной в 67 км. Одним из грандиознейших сооружений этого типа является законченный в 1927 г. судоходный Ровский туннель на водной магистрали Марсель—Рона, где он на канале Марсель—Арль прорезает горный массив Нерт. Туннель сооружен для одновременного пропуска двух судов; он имеет длину 7,3 км и величайшее в мире поперечное сечение: ширину в свету по урезу воды 72 м, а высоту по оси 15,4 м (рис. 235). Замена каналов туннелями, вследствие наличия оползневых явлений, недостаточной прочности грунтов и других неблагоприятных инженерно-геологических условий на склонах долин, часто производится

при строительстве деривационных каналов. Так, например, по этим причинам на РионГЭС часть открытого канала, идущего по восточному склону Сагорийского плато, заменена туннелем.

Туннели устраиваются также для различных других целей. Особенно широко они используются на строительстве железных и автогужевых дорог. В городах туннели проводятся при устройстве метрополитенов (Москва, Лондон и др.), а также для экипажного и пешеходного сообщения. Такой туннель большого сечения соединяет Неаполь с его северной окраиной, а неболь-

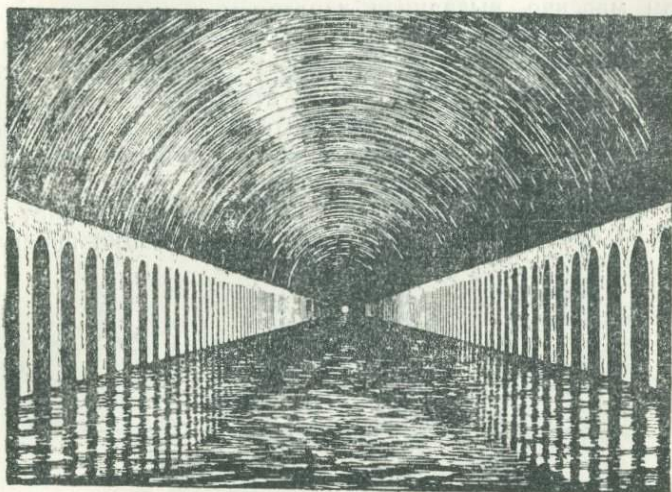


Рис. 235. Внутренний вид Ровского туннеля.

шой пешеходный туннель в Тбилиси служит для связи города с ботаническим садом. Кроме того, устраивают ирригационные, дренажные туннели и туннели для целей водоснабжения. Так, в г. Чикаго туннель используется для подачи воды из озера в город.

Пересекая горные хребты и водоразделы, туннели очень часто проходят в областях со сложным геологическим строением. Большая глубина проведения туннелей еще более затрудняет проведение инженерно-геологических исследований. Для этих исследований на основании комплексной инженерно-геологической съемки составляется геологическая карта, на которой показывается возраст и литологический состав пород. После выбора направления трассы туннеля, вдоль нее строится предварительный схематический геологический разрез. На основании его устанавливаются наиболее неблагоприятные участки туннеля, задавая на них главнейшие разведочные выработки, с помощью которых стремятся с возможной детальностью получить данные, необходимые для инженерно-геологической оценки условий проведения туннеля. Главнейшими факторами, которые при этом

следует учитывать, являются: литолого-петрографический состав пород, порядок наложения (стратиграфия), физико-геотехнические свойства пород, горное давление, тектоника, водоносность, температура и природные газы.

Горное давление

Особенностью инженерно-геологических условий, которую необходимо учитывать при проведении туннелей, является то, что при их проложении нарушается распределение напряжений в горном массиве, вызванное давлением вышележащих пород. Это давление называется горным, и на больших глубинах распространяется во всех направлениях. В результате горного давления на значительных глубинах из стен туннеля с треском откалывают куски горной породы, которые потом не вмещаются в прежнее место, так как увеличились в объеме. Это явление известно под именем горного стреляния.

При проведении туннелей горное давление вызывает деформации в их кровле и стенках. Внешне деформации проявляются

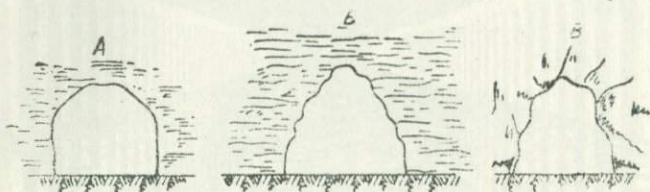


Рис. 236. Свод обрушения в породах:
А — монолитных, Б — слоистых, В — трещиноватых.

прогибанием потолка горизонтальной выработки, при одновременном появлении трещин в нем. В дальнейшем происходят вывалы отдельных глыб породы, которые могут достигать значительных размеров. В результате потолок получает сводообразную форму параболического сечения, которая правильный контур может получить только в совершенно однородных породах. В монолитных породах форма свода наиболее правильная (рис. 236, А), в слоистых — образуется ряд уступов (рис. 236, Б), а в трещиноватых выпадение породы происходит по трещинам (рис. 236, В). Сводообразная форма потолка является естественной формой поверхности равновесия, в связи с чем дальнейшее разрушение прекращается. Установлено, что размеры свода обрушения почти не зависят от глубины выработки, а в основном зависят от физико-механических свойств пород.

Существует много теорий горного давления, среди которых одной из самых популярных является теория Протодяконова. В соответствии с этой теорией, которая повидимому наиболее правильно отражает истинное положение вещей, после проведения горизонтальной или наклонной выработки в потолке ее

образуется естественный свод обрушения ktk_1 (рис. 237), в пределах которого могут происходить вывалы горной породы. Если туннель будет оставлен без крепления, то его стенки начнут обрушаться, пока не примут положения, соответствующего углу естественного откоса φ . При этом в потолке образуется свод возможных обрушений nyn_1 . Из рис. 237 видно, что половина основания этого свода будет:

$$a_2 = a + b \operatorname{tg} (90^\circ - \varphi), \quad (31)$$

где a — половина ширины выработки, b — ее высота.

Так как при самом тщательном креплении между стенками выработки и крепью остается свободное пространство, то в за-

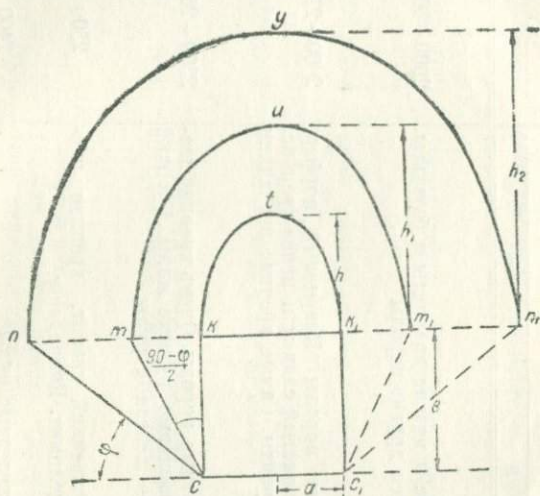


Рис. 237. Своды обрушения по Протодыяконову.

крепленной выработке стенки не сохранят полностью вертикального положения, а образуют плоскости скольжения st и s_1m_1 , по которым произойдет смещение породы. Согласно опытным данным, угол плоскости скольжения с вертикальной плоскостью может быть принят равным половине угла $90^\circ - \varphi$, т. е. $45^\circ - \frac{\varphi}{2}$.

В соответствии с этим, половина основания свода обрушения в закрепленной выработке, который называется сводом давления, будет равна (рис. 237):

$$a_1 = a + b \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (32)$$

Согласно экспериментальным данным проф. Протодыяконова, высота свода обрушения в метрах равна частному от деления половины основания в метрах на коэффициент крепости породы f , т. е.

$$h = \frac{a}{f}; h_1 = \frac{a_1}{f}; h_2 = \frac{a_2}{f} \quad (33)$$

Категория	Степень крепости	Название пород	Вес 1 м ³ породы в массиве (в кг)	Угол внутреннего трения φ	Коэффициент крепости f
1	2	3	4	5	6
I	В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты. Исключительные по крепости другие породы	2800—3000	—	20
II	Очень крепкие породы	Очень крепкие гранитные породы. Кварцевый порфир, очень крепкий гранит, кремнистый сланец и менее крепкие, чем указанные выше, кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки	2600—2700	—	15
III	Крепкие породы	Гранит (плотный) и гранитные породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Кварцевые рудные жилы. Крепкий конгломерат. Очень крепкие железные руды	2500—2600	—	10
III-a	Крепкие породы	Известняки (крепкие). Некрепкий гранит, крепкие песчаники. Крепкий мрамор, доломит. Колчеданы	2500	—	8
IV	Довольно крепкие породы	Обыкновенный песчаник, железные руды	2400	—	6
IV-a	Довольно крепкие породы	Песчанистые сланцы. Сланцеватые песчаники	2350	—	5
V	Средние породы	Крепкий глинистый сланец. Некрепкий песчаник и известняк, мягкий конгломерат	2400—2800	—	4
V-a	Средние породы	Разнообразные сланцы (некрепкие). Плотный мергель	2400—2600	—	3
VI	Довольно мягкие породы	Мягкий сланец, мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс. Мерзлый грунт. Антрацит. Обыкновенный мергель. Разрушенный песчаник, цементированная галька и хряц-каменистый грунт	2200—2600	—	2
VI-a	Довольно мягкие породы	Щебенистый грунт. Разрушенный сланец, слежавшаяся галька и щебень. Крепкий каменный уголь ($f = 1,4—1,8$), отвердевшая глина	2000—2400	56	1,5
VII	Мягкие породы	Глина (плотная). Средний каменный уголь ($f = 1,0—1,4$). Крепкий нанос, глинистый грунт.	2000—2200	45	1,0
VII-a	Мягкие породы	Легкая песчанистая глина, лёсс, гравий. Мягкий уголь ($f = 0,6—1,0$)	1800—2000	40	0,8
VIII	Землистые породы	Растительная земля. Торф, легкий суглинок, сырой песок	1600—1800	30	0,6
IX	Сыпучие породы	Песок, осыпи, мелкий гравий, насыпанная земля, добытый уголь	1400—1600	27	0,5—0,6
X	Плывучие породы	Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лёсс и другие разжиженные грунты ($f = 0,1—0,3$)		9	0,1—0,3

Коэффициенты крепости f определяются опытным путем; они даны в табл. 12. Для сыпучих пород коэффициенты крепости равны коэффициенту внутреннего трения. При пользовании табл. 12 необходимо учитывать, что цифры, приведенные в ней, отражают среднюю прочность породы и могут заметно изменяться в зависимости от степени выветрелости, трещиноватости и т. п. По коэффициенту крепости все породы делятся на 10 категорий.

Хотя давление пород на ствол туннеля зависит и от целого ряда других факторов, как стратиграфических, так и тектонических, но теоретические подсчеты по методу Протодяконова дают достаточные предварительные данные для проектирования поперечного сечения туннеля и его крепления. Чем однороднее породы и чем менее дислоцирован район, тем ближе предварительные теоретические подсчеты будут отражать характер и размеры фактических напряжений и деформаций в стволе туннеля.

Порядок наложения отдельных слоев, их литолого-петрографический состав и геотехнические свойства

Знание порядка наложения горных пород, в которых проходит туннель, т. е. знание стратиграфического разреза, дает комплексная инженерно-геологическая съемка всей прилегающей территории. Это, в свою очередь, позволяет судить о том, какого литолого-петрографического состава слои будут встречены на участках проектируемого туннеля, которые не были пройдены разведочными выработками. Так как при большой глубине туннелей и значительном их протяжении осуществить детальную разведку практически невозможно, то здесь правильные суждения о характере пород на основании стратиграфических данных становятся особенно важными. Примером такого положения вещей может служить Симплонский туннель, который имеет длину в 19 803 м и находится на глубине до 2 135 м (рис. 9). Конечно, геологический разрез, составленный при полном отсутствии глубоких скважин или недостаточном числе их, может заметно отличаться от фактического, но он все же дает предварительные данные об условиях проведения туннеля, без которых совершенно невозможно его проектирование.

Особенную пользу при исследованиях под туннели могут оказать геофизические методы разведок. С помощью их можно быстро и дешево получить приблизительные данные о глубине и составе пород вдоль трассы туннеля, а также о главнейших дислокациях, о возможной встрече подземных вод и о величине геотермической ступени на различных участках туннеля.

Литолого-петрографический состав горных пород имеет первостепенное значение для всего хода туннельных работ, так как определяет основные физико-механические свойства пород. Сопротивляемость пород разработке и устойчивость кровли и стенок туннеля в первую очередь зависят от их минерального состава, структуры, текстуры, трещиноватости и степени выветре-

лости. Самым твердым из породообразующих минералов является кварц (твердость 7). Это делает все богатые кварцем породы очень трудными для проходки, а в особенности кварцевые жилы, косо секущие туннель, так как при бурении шпуров происходит скользящие и искривление стальных буров.

Кварциты, а также другие осадочные и метаморфические породы с кремнистым цементом с большим трудом поддаются разработке. В то же время присутствие этих пород еще не обуславливает устойчивость туннеля, так как они часто быстро выветриваются. Так, например, кварцевый порфир, разработанный на Уссурийской железной дороге для использования в качестве строительного камня, пролежав зиму в штабелях, превратился в дресву. Породы, богатые роговой обманкой и авгитом, вязки и также представляют большие трудности во время их проходки.

Изверженные породы мелкозернистой структуры труднее разрабатываются, чем крупнозернистые, крепость которых значительно снижает хорошо выраженная спайность крупных кристаллов полевого шпата и скопления слюды. Однако, в зависимости от степени выветрелости пород, может получиться обратная картина. Так, при проходке напорного туннеля для гидростанции у Мартенштейна в Богемии, на некоторых участках был встречен крупнозернистый гранит, который оказался тверд, устойчив и мало трещиноват. На других же участках, хотя гранит был и мелкозернистый, но настолько трещиноватый, истертый и выветрелый, что представлял собой очень слабую и сильно водопроницаемую породу, которую в наиболее слабых местах проходили с помощью забивной железной крепи.

Текстура имеет не менее важное значение при определении сопротивления породы проходке. Так, например, все сланцеватые метаморфические породы при прочих равных условиях разрабатываются легче массивных. Особенно легко поддающимися разработке, но в то же время очень непрочными и легко выветривающимися являются глинистые сланцы и сланцеватые глины. Как показал опыт проходки одного из туннелей железной дороги Армавир—Туапсе, плотные в свежем состоянии глины скоро распадались на чешуйки, образуя осыпи. В глинах сопротивление выемке обуславливается силой сцепления, которое зависит от влажности и в жирных глинах достигает максимума при 22—32% влажности, а в тощих—примерно при 18%.

При проведении туннелей в несцементированных ледниковых отложениях неблагоприятно на скорости проходки сказывается присутствие крупных валунов, замедляющих проходку и удорожающих ее.

Особенную опасность для туннелей на водных путях сообщения и деривационных напорных туннелей представляют карстовые пустоты, которые могут быть встречены в известняках, доломитах и гипсоносных породах. В железнодорожных туннелях карстовые явления причиняют также много трудностей. Так, в

туннеле на железнодорожной линии в Закавказьи на 8,5 м ниже пути была обнаружена карстовая пещера в 7,2 м шириной. Для поддержания восточной стены туннеля, которая оказалась навесу, пришлось подвести железобетонную балку. Обвалы в потолке и провалы в основании представляют очень частое явление при проходке туннелей вблизи карстовых пещер.

Пустоты в карстующихся породах часто заполнены обломками с глинистым материалом, что особенно часто наблюдается вдоль тектонических разломов, где эти пещеры представляют расширения сбросовых трещин. При подсечении их потолком туннеля происходит внезапное обрушение, как это имело место при проведении Ватфардского туннеля в Англии.

Сильно насыщенные водой пески и пlyingуны представляют большие трудности при проведении туннелей. Внезапная встреча с пластами или гнездами мелкозернистого пlyingучего песка в потолке или стенках туннеля сопровождается прорывом его в выработку и может привести к катастрофе. Такие случаи часто имели место в практике туннельного строительства и сопровождалась человеческими жертвами. При проходке туннеля для канала между Ойзе и Айске такой прорыв в потолке выработки принудил продолжать работы с помощью сжатого воздуха.

Не менее опасны случаи, когда туннель проходит вблизи такого пlyingучего песка и отделен от него небольшим слоем недостаточно крепкой или трещиноватой породы. Прорыв такого характера произошел в Медонском туннеле во Франции. Катастрофа разразилась после того, как отделка туннеля была уже почти полностью закончена. Свод туннеля, в котором при проведении наблюдалось местами очень сильное давление на крепь, внезапно провалился, и внутрь с большой силой прорвался пlyingун. Заполнение туннеля песком удалось остановить только построив перемычки. Разрушение произошло из-за недостаточно правильной оценки инженерно-геологических условий. На основании разведочных данных было известно, что над залегающими в потолке туннеля мергелями с известняками и глинами находится водоносный песок с зеркалом воды на 20 м выше туннеля. Однако было признано, что изолирующий слой является достаточно надежным, что в действительности оказалось не так.

Немало неприятностей при проведении туннелей в пlyingучих породах доставляют также разрушения крепления, вызываемые обвалами породы в потолке, которые происходят в результате постепенного истечения пlyingучей массы и достигают значительных размеров. Подобный случай грозил катастрофой при проведении Эммерсбергского туннеля, когда в потолке над креплением образовалась пещера в 6 м высотой.

При проведении туннелей в трещиноватых изверженных или скальных осадочных породах возможны отдельные вывалы из потолка и стенок выработки. Характер трещин и расположение их играют при этом главную роль и должны тщательно изучаться при оценке устойчивости туннеля. В зависимости от направле-

ния трещин, на одних участках можно ограничиться только сближкой, в то время как на других потребуется крепление.

При неглубоком положении туннеля провалы в его потолок могут вызвать деформации поверхности в виде воронок и просядок. Это особенно опасно при постройке метрополитенов, когда такие нарушения могут привести к сильным осадкам и деформациям капитальных зданий и сооружений.

Туннели, проводимые вдоль склонов горных массивов, часто страдают от оползней. Большие затруднения были вызваны оползнями при проведении туннелей на Кругобайкальской железной дороге, а также в туннелях Черноморской железной дороги. Смещение трассы туннеля в глубь массива ниже поверхности скольжения оползня является необходимым мероприятием, если бы оно даже потребовало увеличения длины туннеля.

Тектоника

Большинство туннелей проходит в горных районах, где наиболее интенсивно проявлялись тектонические процессы, и по-

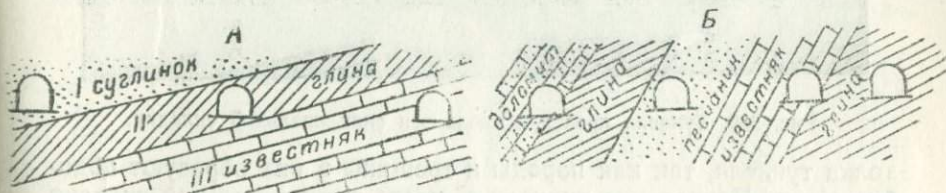


Рис. 238. Ось туннеля совпадает с простираем пластов: А — пологое падение пластов, Б — крутое падение пластов.

роды в той или иной мере дислоцированы. Кроме того, геологические условия часто осложняются интрузиями и излияниями изверженных пород. Поэтому для туннельного строительства правильная инженерно-геологическая оценка тектонических нарушений имеет исключительное значение. При определении инженерно-геологических условий важно учитывать, что устойчивость туннеля зависит как от характера дислокации, так и от того, где и в каком направлении туннель ее пересекает.

Трасса туннеля может проходить по простираению горных пород или под некоторым углом к нему. Первый случай является наиболее благоприятным, так как при этих условиях туннель может всем своим сечением находиться в одной породе. Кроме того, на одной и той же высоте можно трассировать туннель в любом из развитых здесь слоев (рис. 238, А), выбирая самые благоприятные инженерно-геологические условия. При крутом падении слоев возможности выбора подходящих условий для проведения туннеля еще больше (рис. 238, Б), так как на полосе той же ширины пройдет большее число слоев. Если сечение туннеля будет пересекать два пласта, то возможны вывалы и сползания более молодого слоя. Еще более благоприятные инженерно-

геологические условия будут в поставленной на голову толще. Если ось туннеля совпадает с осью антиклинальной складки, то создаются наиболее благоприятные условия устойчивости по-

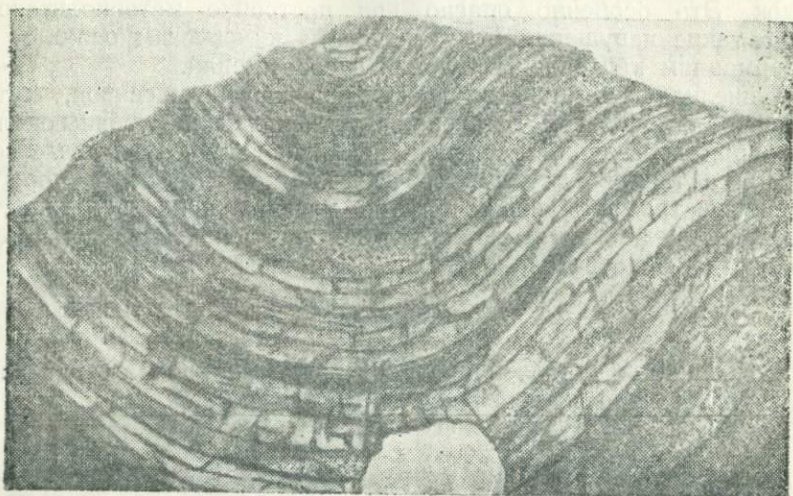


Рис. 239. Туннель проведен вдоль оси синклиальной складки.

толка туннеля, так как породы и трещины в них образуют подобие свода. Проведение туннеля в крыле антиклинальной складки менее благоприятно, вследствие повышенных напряжений, ко-

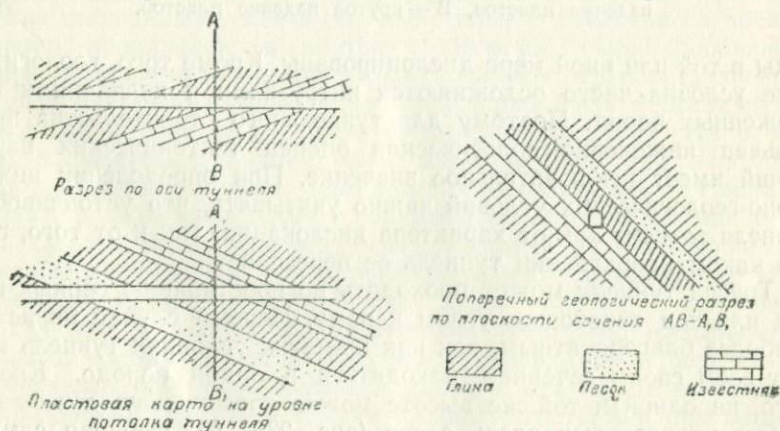


Рис. 240. Туннель проведен под углом к простираению в пологопадающих слоях.

торые здесь имеют место. В туннеле, проложенном вдоль оси синклиальной складки, трещины веерообразно расходятся вниз, вследствие чего в потолке будут обрушения и вывалы породы (рис. 239).

Проведение туннелей под углом к простиранию пород менее благоприятно, так как при переходе от пласта к пласту в стенках и в потолке выработки пласты подсекаются поверхностями наслоения, в результате чего могут происходить разрушения ствола туннеля (рис. 240). Из рисунка видно, что чем под более острым углом к простиранию пересекает туннель толщу пород и чем положе падение слоев, тем подсеченные наслоением клинья породы будут тоньше, а вывалы и обрушения более вероятны. Особенно опасны деформации выработки на границе пластов, сильно различающихся по своим физико-механическим свойствам. Чем круче падение пластов, тем устойчивость потолка будет больше. Самые же благоприятные инженерно-геологические условия будут при пересечении туннелем вкрест простирания на голову поставленной свиты отложений (рис. 241).

Пересечение туннелем сбросов и сдвигов является неблагоприятным фактором, так как по сбрасывателю могут происходить обрушения пород в потолке и стенках туннеля. Особенно опасны они в случае пересечения сброса с осью туннеля под острым углом. Опасность разрушения туннеля еще более увеличивается вследствие того, что породы в зоне разлома сильно трещиноваты и часто раздроблены в щебень, сцементированный глинистым материалом. При пересечении туннелем сброса вкрест его простирания раздробленная зона охватит минимальный участок туннеля, и этот случай принесет минимум осложнений.

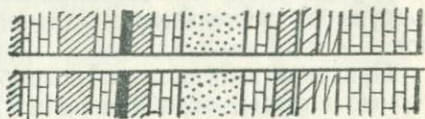


Рис. 241. Туннель проведен вкрест простирания на голову поставленной свиты.

При пересечении сбросов туннелями, проводимыми в сейсмических районах, в результате повторных смещений по сбросам может произойти разрушение туннеля. Так, во время землетрясения 28 сентября 1891 г. в одном из японских туннелей по сбросовой трещине образовался уступ в 0,24 м. Однако установлено, что при землетрясениях туннели разрушаются меньше, чем их порталы и сооружения, расположенные на поверхности земли. Порталы очень часто разрушаются от сползания склонов, которые до землетрясения были достаточно устойчивы.

Подземные воды

Подземные воды в туннельном деле играют очень большую роль. Однако, если можно с той или иной степенью точности предусмотреть участки туннеля, на которых должно ожидать встречи подземных вод, то размеры притока их без опытных работ определить более чем трудно. Для туннелей, проходящих на больших глубинах, этот вопрос становится особенно трудным, так как детальные инженерно-геологические исследования в этих случаях обычно не производятся.

В зависимости от характера пород и гидрогеологических условий, даже на отдельных участках трассы одного и того же туннеля может наблюдаться резко различный приток подземных вод. Очень большой приток подземных вод наблюдался при проходке Симплонского туннеля, в котором было вскрыто 237 источников. Особенно большим дебитом отличались источники, приуроченные к трещиноватым и закарстованным известнякам, а также к гипсоносным породам. На расстоянии 4,21 км от южного портала из трещины в слюдястых сланцах забил источник с дебитом в 1,2 м³/сек., из-за которого на некоторое время пришлось остановить работы. На расстоянии же 4,4 км от южного портала вода прорвалась в таком количестве, что потребовалось строить перемычки и приостановить на 6 недель работы. Большой приток воды из каменноугольных известняков вызвал также серьезные затруднения при проведении Московского метрополитена.

Особенно большой приток воды в туннель поступает при проведении его вдоль синклинальной складки (рис. 239), при антиклинальном же залегании наблюдаются благоприятные гидрогеологические условия. Сбросовые трещины и зоны разломов, как правило, также богаты подземными водами, что еще больше затрудняет туннельные работы на этих и без того слабых участках.

Притекая к туннельной выработке, подземные воды дают на горные породы, ослабляя их и увеличивая тем самым давление на крепь. При наличии пльвунов случаются катастрофические прорывы, сопровождающиеся разрушением потолка и стенок туннеля. В растворимых породах притекающие большие количества воды уменьшают устойчивость выработки не только в силу механического давления, но и в результате выщелачивания, размеры которого могут быть огромны. В Симплонском туннеле выносилось водой в год не менее 10 000 м³ гипса. При наличии агрессивных свойств, подземные воды в то же время разрушающим образом действуют на бетонное крепление ствола туннеля.

В условиях сурового климата выходящие в туннель подземные воды превращаются в лед, образуя крупные наледи, затрудняющие нормальную эксплуатацию туннеля.

Особенно трудные гидрогеологические условия создаются при проведении туннелей под реками, озерами т. п. В этом случае при соответствующих геологических условиях (водопроницаемые пласты, трещины и т. д.) поверхностная вода может в значительных количествах проникать в туннель. При недостаточном объеме разведочных работ и неверной оценке инженерно-геологических условий возможны катастрофические прорывы в туннель поверхностных вод, как это имело место во время постройки Лечбергского туннеля под Бернскими Альпами. Туннель был запроектирован под р. Кандер, строение долины которой было изучено небрежно и дано положительное инженерно-геологическое заключение. В действительности дно древней долины

оказалось здесь на 230 м ниже современного, а все пространство между ними было заполнено аллювиальным галечником с водой. При взрыве в расстоянии 2,5 км от северного портала произошло разрушение тонкого слоя скалы в потолке и в туннель ворвалась вода реки вместе с аллювием, моментально наполнив готовый участок туннеля и похоронив при этом 25 человек. Направление трассы пришлось изменить, сохранив из проведенной части только 1,2 км, примыкающих к portalу. Вход в заброшенную часть туннеля был замураван, а вода из него выведена дренажем к portalу.

Борьба с поступлением большого количества воды в туннели ведется по двум направлениям: путем изоляции источников обводнения и путем усовершенствованного отвода воды из выработки. Существует много способов изоляции туннелей от подземных вод, среди которых наиболее распространенными являются: затирка цементом пористой поверхности стенок, торкретирование — нанесение цементного раствора сжатым воздухом, заполнение пространства между кладкой и стенкой выработки нагнетанием жидкого бетона через трубки, заложенные в отделку, накладка свинцовых листов и оклеечная изоляция, состоящая из листов рубероида, переслаивающихся с слоями жидкого битума (Московский метрополитен). Дренажные сооружения располагаются за стенками туннеля и иногда комбинируются с изоляцией сводовой части. На оползающих косогорах дренаж устраивается с отводом воды внутрь туннеля. Дренажные сооружения на больших участках туннеля являются по сути дела обыкновенным дренажным устройством, имеющим ряд отрицательных сторон. Они способствуют постоянному притоку воды к туннелю, которая постепенно размывает и выщелачивает породы в стенках, и при значительной агрессивности, кроме того, непрерывно разрушает бетон облицовки.

Температура

Прогноз температуры, которая будет встречена на различных участках туннеля, необходим для предварительной оценки условий производства работ и эксплуатации туннеля. Главнейшим фактором, от которого зависит температура в туннеле, является глубина прокладки туннеля от поверхности. Зная среднюю годовую температуру воздуха t_b , глубину залегания зоны постоянной температуры n , геотермическую ступень τ (стр. 20—21) и глубину туннеля от поверхности m , можно определить температуру горных пород в нем (t_m) по формуле:

$$t_m = t_b + \frac{m - n}{\tau} \quad (34)$$

Однако, вычисленная по формуле температура может заметно отличаться от фактической в результате изменения геотерми-

ческой ступени под влиянием различных местных факторов. Обильные холодные воды увеличивают геотермическую ступень и снижают температуру, как это видно из геоизотерм Симплонского туннеля. Здесь под долиной Руиссо, из которой инфильтровалось огромное количество поверхностных вод, температура в туннеле снизилась до 13°C (рис. 9). Так как при сильно выраженном пересеченном рельефе происходит более быстрое охлаждение, чем на равнине, то в горных районах геотермическая ступень увеличивается. Это приводит к разрежению геоизотерм и требует поправок при пользовании средним значением геотермической ступени в 33,3 м. Так, например, в районе Сен-Готтардского туннеля геотермическая ступень оказалась равной 47,6 м. В свою очередь источники горячих ювенильных вод, близость вулканов и больших массивов изверженных горных пород, а также пологое залегание слоев и химические процессы уменьшают геотермическую ступень. Все эти условия необходимо учитывать при вычислении ожидаемой температуры проектируемого туннеля. При этом в первую очередь должно использоваться температурные наблюдения в глубоких разведочных скважинах, которые должны быть организованы при производстве инженерно-геологических исследований под туннели.

Природные газы

В горных породах часто наблюдаются скопления природных газов, с которыми приходится сталкиваться при проведении туннелей. Особенного внимания из них требуют метан, углекислый газ, сернистый водород и азот.

Метан (CH_4) является одним из углеводородистых газов, наиболее часто встречаемых при проведении туннелей. Он образуется при разложении органических веществ, вследствие чего часто встречается в нефтеносных и угленосных, а иногда и в соленосных породах. Присутствие метана в каменноугольных копях является обычным явлением, почему его также называют рудничным газом.

Метан горюч и в смеси с воздухом становится взрывчатым, что делает его присутствие в туннельной выработке опасным для жизни людей, хотя сам по себе он не ядовит. Благодаря небольшому удельному весу он скапливается у портала выработки.

В туннелях Черноморской железной дороги наблюдались обильные струи рудничного (гремучего) газа, который иногда перехватывался и по специальным трубкам отводился к portalу, где спокойно горел. Выделение метана происходило из битуминозных песчаников в Сурамском туннеле на железной дороге Тбилиси—Батуми, а также из глинистых сланцев и глин в туннеле около Сочи. Большие скопления метана были встречены при проходке Большого Апеннинского туннеля в Италии, в котором были случаи взрывов с человеческими жертвами, что также имело место и в соленосных породах, встреченных в Пирейском туннеле.

Производство работ в выработках, содержащих гремучий газ, требует принятия предохранительных мер, главнойшей из которых является применение для освещения специально сконструированных безопасных рудничных ламп. На пройденных участках, с выделением газов можно иногда с успехом бороться глинизацией трещин.

Углекислый газ (CO_2) образуется в результате обугливания органических остатков. Он тяжелее воздуха, благодаря чему скапливается в нижней части выработок. В большом количестве он опасен для жизни людей. Так, например, внезапное появление его в Симплонском туннеле стоило жизни двум рабочим. При проведении одного туннеля в Калифорнии выделение углекислого газа по трещинам в песчанике было настолько значительным, что проходку пришлось остановить. Продолжать работы стало возможным только после того, как туннель на участке в 45 м был облицован бетоном, а собиравшийся в кольцевом пространстве между породой и бетоном газ отсасывался вентиляторами.

Сернистый водород (H_2S) образуется при разложении органических веществ, а также при воздействии воды на сульфиды и при различных химических изменениях гипса. Он ядовит и вредно влияет на глаза, но в малых количествах вреда не причиняет и в то же время легко узнается по своеобразному сильному запаху, что дает возможность своевременно принять предохранительные меры. Сернистый водород разрушающим образом действует на известковые растворы, ослабляя тем самым каменные и бетонные кладки.

Азот (N) встречается при проходке изверженных пород в молодых тектонических районах. Будучи легче воздуха и углекислого газа, он всегда скапливается у потолка выработок. Хотя он дыхания не поддерживает, но, являясь практически инертным газом, в небольших количествах вреда не приносит.

Глава XXIII

ПОРТЫ

Искусство строить порты, так же как и мореплавание, начало развиваться в наиболее древние периоды человеческой культуры. За много лет до нашей эры были выстроены такие замечательные в истории народов порты, как Тир — второй порт Финикийской империи и Остия — один из самых крупных портов древнего Рима.

Каждый порт представляет собой сложный комплекс разнообразных инженерных сооружений. Одни из них (молы и волноломы) располагаются на наружной и внутренней водной площадке порта, другие (набережные) образуют причальный фронт и трети (силовые станции, хозяйственные строения, склады, подъездные пути и т. д.) возводятся на сухопутной площади портовой территории. Кроме того, шлюзы в приливных портах и

маяки делают еще более разнородным состав портовых сооружений, как по их назначению, так и по инженерно-геологическим условиям, в которых они предназначены работать.

Положение портов на границе литосферы с гидросферой ставит их одновременно в зависимость от геологических процессов, протекающих как на суше, так и на море. Переплетаясь между собой эти процессы создают исключительно сложные инженерно-геологические условия. Сверх того, при большом разнообразии портовых инженерных сооружений, каждый из геологических процессов разно сказывается на отдельных элементах портов. Все это делает выбор места под новые порты особенно трудным, а инженерно-геологические исследования очень сложными.

После того, как выбрано место, очертания и характер берегов которого благоприятны для устройства порта, встает целый ряд инженерно-геологических вопросов. Прежде всего, необходимо установить, поднимается или опускается берег и как быстро протекает этот процесс. В первом случае будет наблюдаться постепенное обмеление порта, которое может потребовать дноуглубительных работ, а при опускании берега будет происходить затопление, что потребует периодической надстройки мола и пристаней. Все эти инженерные мероприятия потребуют дополнительных эксплуатационных расходов, размеры которых будут зависеть от характера грунтов, слагающих дно порта (землечерпательные работы), и от наличия местных строительных материалов для надстройки. При неблагоприятном сочетании этих факторов эксплуатация порта может оказаться невыгодной.

С народнохозяйственной точки зрения обычно бывает выгодно располагать порты у устьев судоходных рек. Между тем всякая река выносит обломочный материал и непрерывно засоряет водную площадь порта. При значительном выносе наносов порт мелеет и требует землечерпательных работ или принятия других инженерных мероприятий, как отвод русла реки или возведение плотин для создания отстойных бассейнов. Иногда время от времени производят промывание портов и выходов из них. Для этого используются воды приливов, которые собираются в специальные бассейны. Наличие таких промывных бассейнов имеет отрицательное значение с военной точки зрения. Если перед промыванием загрузить в бассейны грунтовый материал соответствующего гранулометрического состава, то, несомый водным потоком, он засыплет вход в гавань. Таким образом в первую мировую войну англичане закрыли базу немецкого подводного флота в бельгийском порту Зеебрюгге.

Борьба с поступающими в порт наносами всегда трудна и с успехом проводится в наше время благодаря наличию землечерпательных машин, поднимающих со дна большие объемы грунта. В противном случае порт будет полностью заполнен наносами, как это случилось с древней гаванью Остия. Несмотря

на всю изобретательность инженеров древнего Рима, они не могли при том состоянии техники противостоять огромному количеству выносимого р. Тибр материала и в настоящее время место древней гавани находится в 2,5 км от моря. Даже небольшие впадающие в порт реки могут во время ливней выносить значительное количество наносов. Такое явление наблюдается в Ялтинском порту, который постоянно засоряется выносами двух рек с сильно возрастающими во время ливней расходами.

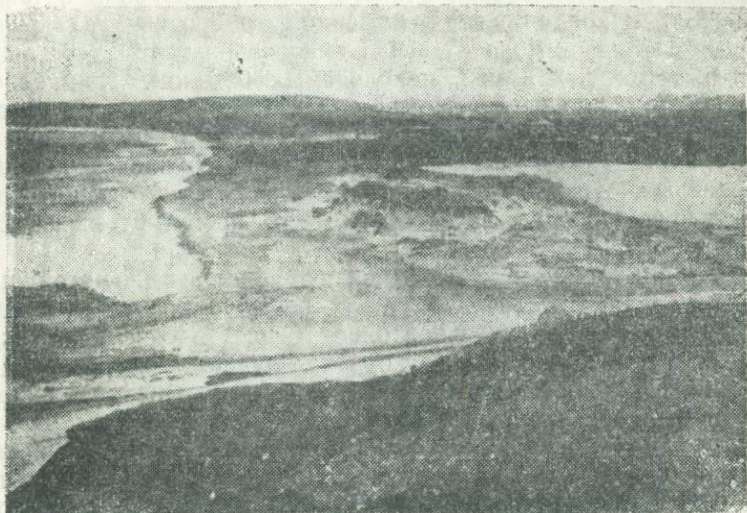


Рис. 242. Отмель с дюнными холмами.

Одновременно с наносами, выносимыми реками, при выборе места для порта необходимо учесть те отложения, которые образуются в результате деятельности набегающих на берег волн, прибрежных течений и ветра, передвигающего дюнные пески. Двигаясь местами вдоль морского берега, дюнные гряды пересекают заливы, реки и каналы (рис. 242). С помощью шлюзов и других инженерных сооружений устья рек превращаются в гавани. Впереди них параллельно берегу проходят подводные песчаные бары, которые уменьшают силу волн во время штормов. Между валом бара и берегом имеются каналы до 10 м глубиной, где суда в бурю находят убежище.

При устройстве пристаней на реках нужно учитывать возможность искусственного изменения режима реки в этом месте, в результате чего может начаться образование отмелей, загромождающих подход к пристаням.

После того как выбрано место для порта, приступают к исследованиям под отдельные инженерные сооружения. На осно-

вании полученных данных производят инженерно-геологическую оценку и проектируют основные элементы порта.

Моли и волноломы служат для защиты от моря внешней (рейд) или внутренней (гавань) водных площадей порта. Моли идут от берега и связаны с ним, а волноломы расположены вдали от берега на глубинах до 20 м и более. Моли и волноломы представляют собой тяжелые сооружения, которые подвергаются сильным ударам волн и временным нагрузкам грузами и людьми. Возводятся они без устройства специального основания, путем наброски рваного камня, валунов и бетонных монолитов. Иногда поверх каменной наброски укладывают крупные бетонные монолиты или массивы-гиганты, состоящие из железобетонных камер, наполняемых бетоном. При слабом грунтовом основании большой вес молов и волноломов может явиться причиной выпирания дна, а постоянные удары волн являются сдвигающим усилием, на которое также необходимо рассчитывать эти сооружения. Все это требует тщательного предварительного изучения грунтов на месте проектируемых сооружений.

Самым подходящим способом исследования для этой цели является бурение, которое в устьях рек и в хорошо защищенных гаванях производят с понтонов и поставленных на якорь судов. В замерзающих заливах бурение лучше всего производить со льда. В условиях сильного волнения и больших приливов и отливов бурение становится практически невозможным. В этом случае пользуются буром-щупом, зондирование которым выполняется в наиболее тихую погоду с закрепленного на якорях понтона. При больших глубинах пользуются трубкой Экмана, которая дает возможность брать пробы слабых грунтов на глубину до 2 м. При бурении дна заливов, рек и озер особенные трудности возникают с отбором проб грунтов. В слабых грунтах, слагающих дно, трудно изолировать скважину от проникновения в нее воды. Поэтому при бурении со дна Женевского озера пробы грунта брали специальными трубами с клапанами, которые загоняли в забой скважины. Затем на соответствующую глубину опускали обсадные трубы и производили очистку скважины, после чего снова опускали трубу, отбирающую пробу, и т. д. Отобранные таким образом пробы дают возможность определить объемный вес грунта и содержание воды в нем, что в свою очередь позволяет вычислить пористость и по ней иметь суждение о возможной осадке мола или волнолома.

Геофизические методы с успехом применяются при разведке строения дна портов, позволяя установить поверхность скальных грунтов и перекрывающие их наносы. Электроразведка в порту Алжир дала хорошие результаты.

Иногда дно гавани бывает сложено скальными грунтами, покрытыми небольшим слоем наносов, обычно же мощность наносов бывает более или менее значительной, а состав их различный. Гравелистые и песчаные грунты обладают большой не-

сушей способностью и хорошо сопротивляются сдвигающим усилиям. Глинистые грунты обладают малой устойчивостью на сдвиг, а плохо слежавшиеся илы, кроме того, обладают большим сжатием, причем набрасываемые камни и бетонные монолиты погружаются в них.

Интересные примеры, иллюстрирующие процессы осаждения грунта в воде при устройстве молов и волноломов, наблюдались в главном порту Чили—Вальпарайсо, где подводная часть волноломов насыпалась на морское дно, сложенное черным глинистым илом. Отсыпка производилась песком, извлекаемым землечерпательными машинами с глубины до 50 м. Вследствие деформаций илистого дна, наблюдались оползания отсыпаемого песка, что потребовало насыпки песка в два раза больше, чем это предполагалось на основании теоретических расчетов. При осаждении песка на дно из него вымываются глинистые и илистые частицы, в результате чего на дне образуется плотное основание. Это позволяет строить молы и волноломы на «плавающих» на иловатых грунтах песчаных подушках. Так, недавно в одном из итальянских портов был сооружен мол тяжелого типа на подушке из мелкого чистого песка в 3—5 м толщиной, которая была отсыпана на слабый илистый грунт дна в 30 м мощностью.

Располагаясь от берега к морю, молы преграждают путь переносимым вдоль берега наносам. В результате этого у мола накапливаются песчано-глинистые осадки, причем процесс осаждения продолжается до тех пор, пока перед молом образуется закругление и наносы смогут проходить у концов дамб.

Набережные служат для создания глубины, достаточной для причала судов и для поддержания насыпки за ними, являющейся частью сухопутной территории речных и морских портов. В зависимости от физико-механических свойств грунтов, слагающих берег, набережные бывают различных конструкций — от массивного типа до устроенных на сваях.

До устройства набережных необходимо произвести инженерно-геологические исследования, которые должны установить геологическое строение прибрежной полосы и геологические процессы, происходящие в ней. Прежде всего нужно выяснить, размывается ли берег, или на нем происходит отложение наносов, а также, в какой мере он подвержен оползневым явлениям. В деталях геологическое строение берега разведывается с помощью буровых скважин и шурфов. На основании данных этих выработок составляются нормальные к береговой линии инженерно-геологические разрезы, на которых отмечаются физико-механические свойства грунтов и водоносные горизонты.

Часто набережные приходится возводить на очень слабых водоносных грунтах, с которыми обычно приходится иметь дело в прибрежной полосе гаваней. Иногда очень слабый грунт приходится даже удалять, заменяя его более устойчивым, как это имело место при сооружении набережной в Дельфцииле на р. Эмс (северо-западная Германия). Здесь слабый иловатый грунт

был вынут на 7 м ниже нулевого горизонта и заменен насыпью из песка.

Набережные находятся в зоне разрушительного действия прибойных волн и должны обладать облицовкой, которая могла бы противостоять им. В местах, где разрушение берегов штормами идет очень интенсивно, устраивают волноотбойные стенки, которые часто служат и подпорными стенками для оползающего берега. В таком случае основание этих стенок закладывается ниже поверхности скольжения, а сзади их устраивается дренаж для сбора и отвода воды из оползня.

Морская вода, омывающая береговые сооружения, действует на набережные не только механически, но и химически. Вследствие избытка свободной извести (CaO) в порландском цементе он оказывается неустойчивым в морской воде. Опыт показал, что он постепенно разлагается, причем образуется сметанообразное вещество с повышенным содержанием магния и углекислоты, поглощенных из морской воды.

Добавки трассов и пуццоланов увеличивают химическую стойкость бетонных сооружений. В условиях климата средних и северных широт при выборе облицовочного материала необходимо учитывать, что набережные подвергаются обмерзанию, что ведет к быстрому разрушению материалов с малой морозостойкостью. Удовлетворяющий техническим условиям строительный материал часто отсутствует в районе порта и его приходится подвозить на большие расстояния. В благоприятном отношении в этом смысле находятся порты Латвии, которые в непосредственной близости получают стойкий на выветривание каменный строительный материал или перемытой морены.

Доки представляют собой камеру с дном и стенками, в которой производится постройка и ремонт судна. Док имеет ворота, которые после входа в него судна закрываются, а вода из дока выкачивается. Выемка котлованов для доков в прибрежной полосе, где слабые насыщенные водой грунты типа пльвунов представляют обычное явление, часто связана с большими трудностями. Так, например, при постройке дока на одном из островов у Гамбурга был вычерпан котлован в 70 м длиной. После этого на глубину до 4,5 м ниже дна котлована было с большим трудом забито 1300 деревянных свай. Однако, когда после окончания бойки уровень воды в котловане был понижен на глубину до 2,7 м, сваи начали подниматься с возрастающей быстротой, пока не оказались на глубине 45 см, причем некоторые из них упали. Это явление объясняется направленным вверх потоком подземных вод, который образовался после откачки из дока воды вследствие разности гидростатических уровней в котловане и вне его. Поток вызвал перемещение грунта основания, в результате чего сопротивление трения свай было сведено к нулю.

Сооружения на сухопутной части порта разнообразны по своему характеру и часто отличаются значительным весом. Между тем сухопутная часть порта в большинстве слу-

чаев сложена слабыми аллювиальными грунтами пойменных террас рек, дельтовыми отложениями или морскими береговыми образованиями. Малая несущая способность этих грунтов еще более понижается высоким стоянием уровня грунтовых вод. Так, например, в Нью-Орлеане, расположенном в пойме р. Миссисипи, поверхность улиц находится на уровне среднего стояния подземных вод и на 5 м ниже уровня высоких вод. Поэтому при помощи системы водостивных установок уровень воды во время максимума искусственно приходится поддерживать ниже уровня улиц.

Вследствие таких инженерно-геологических условий, во время исследования территории под сухопутную часть порта и под отдельные сооружения на ней, особое внимание уделяется геотехническим и гидрогеологическим изысканиям. Вопросы возведения тяжелых сооружений на слабых грунтах, с заложением фундаментов ниже уровня грунтовых вод все время встают при оценке инженерно-геологических условий для портовых сооружений. Возведение тяжелых зданий на продольных железобетонных подушках или на свайных ростверках очень часто является единственным инженерным решением вопроса. Прогноз возможных осадок принимает в этих условиях исключительное значение.

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА¹

- А. Ф. Абросимов. Основы составления программ инженерно-геологических исследований при проектировании узлов гидросооружений и систем ирригации в зависимости от стадии проектирования. Гидропроиз, 1936.
- А. В. Арсентьев. Разведочное дело. Гос. научно-техническое изд-во, 1931.
- Л. Н. Бернацкий. Прикладная геотехника. Трансжелдориздат, 1935.
- Н. В. Бобков. Инженерно-геологические исследования в связи с проектированием различных инженерных сооружений. Госгеологиздат, 1932.
- А. А. Богданов и др. Руководство к практическим занятиям по курсу общей геологии, Гостехиздат, 1945.
- В. А. Варсанюфьева. Происхождение и строение Земли. Госгеологиздат, 1945.
- А. А. Гельфер. Причины и формы разрушения гидротехнических сооружений, ОНТИ, 1936.
- А. Т. Коротеев. Спутник гидрогеолога, ОНТИ, 1934.
- М. Люжон. Плотины и геология, ОНТИ, 1936.
- Н. П. Малюков. Естественные каменные строительные материалы. Ленгострансиздат, 1932.
- Н. П. Малюков. Естественные каменные дорожные материалы на базе геологических карт. Часть I — Общий обзор каменных горных пород в Европейской части СССР, Изд-во КУБУЧ, 1935.
- Н. П. Малюков и М. Э. Мейтус. Основы инженерной геологии, Дориздат, 1947.
- Н. Н. Маслов. Инженерная геология, Стройиздат, 1941.
- Д. И. Мушкетов. Краткий курс общей геологии, ОНТИ, 1931.
- Д. И. Мушкетов. Физическая геология, том I, Госиздат, 1924.
- И. В. Мушкетов. Физическая геология, том II — денудационные процессы, Госиздат, 1926.
- В. А. Обручев. Полевая геология, ОНТИ, 1932.
- Ф. П. Саваренский. Гидрогеология, ОНТИ, 1934.
- Ф. П. Саваренский. Инженерная геология, ОНТИ, 1937.
- Ф. П. Саваренский. Справочник по инженерной геологии, ОНТИ, 1939.
- К. Терцаги. Инженерная геология, ОНТИ, 1932.
- В. А. Цыбульский. Инженерная геология, часть I, Гос. научно-техническое горногеологическое изд-во, 1932.
- В. А. Цыбульский. Инженерная геология, часть II, Гос. научно-техническое горно-геологическое изд-во, 1932.
- И. Штин и Д. Мушкетов. Техническая геология, Гос. изд-во, 1925.
- Я. С. Эдельштейн. Введение в геоморфологию, Изд-во КУБУЧ, 1933.
- E. V. Bagnold and W. A. Tarr. Introduction to Geology, Mc Graw-Hill Book Company, 1935.
- W. H. Emmons, G. A. Thiel and C. R. Stauffer. Geology: Principles and Processes, Mc Graw-Hill Book Company, 1939.
- R. F. Legget. Geology and Engineering, Mc Graw-Hill Book Company, 1939.
- N. Ries and T. L. Watson. Engineering Geology, John Wiley, 1936.

¹ Подробные списки литературы можно найти в приведенных здесь работах.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение. Предмет инженерной геологии	5

Часть I

СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

Глава I. Общие сведения о Земле	15
Земля в мировом пространстве	—
Происхождение Земли	17
Общие сведения о строении и свойствах Земли	18
Глава II. Главнейшие породообразующие минералы	23
Общие свойства минералов	—
Описание важнейших породообразующих минералов	30
Макроскопическое определение минералов	37
Глава III. Горные породы	42
Классификация горных пород	—
Изверженные горные породы	—
Осадочные горные породы	66
Метаморфические горные породы	84

Часть II

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЭНДОГЕННЫХ СИЛ

Глава IV. Тектонические процессы	92
Глава V. Дислокации	97
Глава VI. Землетрясения	109

Часть III

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЭКЗОГЕННЫХ СИЛ

Глава VII. Выветривание	121
Глава VIII. Геологическая деятельность ветра	127
Глава IX. Геологическая деятельность текучих вод	135
Общие сведения	—
Разрушение	137
Перенос и обтачивание	148
Отложение	152
Связь геологической деятельности текучих вод с эпейрогеническими и орогеническими движениями литосферы	156
Глава X. Геологическая деятельность морей	161
Общие сведения и определения	—
Механическая деятельность моря	164
Химическая деятельность моря	169

Глава XI. Геологическая деятельность озер	170
Зависимость геологической деятельности озер от их происхождения	—
Озерные отложения	173
Глава XII. Геологическая деятельность болот	174
Генетические типы болот	—
Отложения болот	176
Глава XIII. Геологическая деятельность льда	178
Геологическая деятельность льда, образовавшегося из снега	—
Геологическая деятельность льда, образовавшегося непосредственно при замерзании воды	189
Глава XIV. Геологическая деятельность подземных вод	192
Общие сведения о подземных водах	—
Химическая деятельность подземных вод — карстовые явления	208
Механическая деятельность подземных вод — оползни и обвалы	214

Часть IV

ИССЛЕДОВАНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Глава XV. Геологические исследования	238
Геохронология	—
Геологическая съемка	245
Разведочные работы	249
Геофизические методы исследований	267
Геологические карты и разрезы	269
Глава XVI. Гидрогеологические исследования	284
Задачи гидрогеологических исследований	—
Гидрогеологическая съемка	285
Детальные гидрогеологические исследования	289
Стационарные гидрогеологические исследования и гидрогеологические карты	315
Глава XVII. Инженерно-геологические исследования	324
Основные требования, предъявляемые к инженерно-геологическим исследованиям	—
Зависимость характера инженерно-геологических исследований от стадии проектирования	326
Отличительные черты отдельных видов работ при инженерно-геологических исследованиях	329
Инженерно-геологические карты и разрезы	335
Инженерно-геологический отчет	341
Глава XVIII. Поиски, разведка и оценка месторождений строительных материалов	342
Поиски и разведка строительных материалов	—
Оценка месторождений строительных материалов	345
Организация разработки месторождений строительных материалов	353

ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОД РАЗЛИЧНЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Глава XIX. Водохранилища	357
Общие сведения	—
Фильтрация из водохранилища	358
Устойчивость берегов водохранилища	365
Затопление и подтопление	367
Закрепление	369
Изменения качества воды	370
Глава XX. Плотины	371
Особенности инженерно-геологических исследований под плотины	—
Плотины на изверженных и метаморфических породах	374
Плотины на осадочных породах	376
Глава XXI. Каналы	382
Особенности инженерно-геологических исследований под каналы	—
Фильтрация воды из каналов	384
Устойчивость откосов канала	387
Искусственные сооружения на каналах	395
Глава XXII. Туннели	398
Общие сведения	—
Горное давление	400
Порядок наложения отдельных слоев, их литолого-петрографический состав и геотехнические свойства	404
Тектоника	407
Подземные воды	409
Температура	411
Природные газы	412
Глава XXIII. Порты	413
Главнейшая литература	420



Отв. редактор Стерлин Д. Я. Техн. ред. Лившиц Д. А.

Сдано в набор 15/III 1948 г. Подписано к печати 6/IX 1948 г. М-22744.
УВ-ЛО-183 Объем 26,5 п. л. Уч.-изд. л. 31,5. Тираж 3000 экз. Зак. 1380.

2-я типография «Печатный Двор» им. А. М. Горького треста «Полиграф-
книга» ОГИЗа при Совете Министров СССР. Ленинград, Гатчинская, 26.

Отпечатано с матриц во 2-й типо-литографии Гидрометеоздата,
Ленинград, Прачешный пер., 6. Зак. 1923.

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
22	12 стр.	вызываются	называются
105	8 стр.	разрешения	разрушения
232	6 стр.	0,07	0,7
246	19 стр.	7-8×9-11 см.	5-6×7-8 см.
254	9 стр.	30 см.	30 м.
272	в графе „Индекс“	T_i	T_r
281	15 стр.	рис. 189,	рис. 190,
296	6 и 18 стр.	(рис. 194),	(рис. 196),
314	13 стр.	читать: химического состава почв орошаемых пространств, одни и те же	
333	6 стр.	средств	свойств
341	10 стр.	гидрологию	гидрогеологию
346	4 стр.	падении	залегании
384	24 стр.	и	в
412	11 стр.	портала	потолка

16 P.

8601

9650