

В.М. БЕЗРУК **ГЕОЛОГИЯ
И ГРУНТОВЕДЕНИЕ**



В.М. БЕЗРУК **ГЕОЛОГИЯ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ**

ИЗДАНИЕ ПЯТОЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

*Допущено Управлением учебных заведений
Министерства автомобильных дорог РСФСР
в качестве учебника для
автомобильно-дорожных техникумов*

4251



МОСКВА "НЕДРА" 1984



Безрук В. М. Геология и грунтоведение: Учебник для техникумов. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1984. стр. 224.

В 5-м издании (4-е изд. — 1977) содержатся основные сведения по общей геологии и грунтоведению, имеющие важное практическое значение при изыскании, проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог. Физические и механические свойства грунтов и их устойчивость изложены с учетом особенностей их „работы“ в земляном полотне и других дорожных сооружениях. Описаны основные принципы инженерно-геологических обследований вдоль трассы, а также поиски и разведка дорожно-строительных материалов. Уделено внимание вопросам охраны окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов.

Для студентов средних специальных учебных заведений, обучающихся по специальности „Строительство и эксплуатация автомобильных дорог“.

Табл. 14, ил. 41, список лит. — 11 назв.

Рецензент — д-р техн. наук *О. Т. Батраков* (ХАДИ)

ВАСИЛИЙ МАКАРОВИЧ БЕЗРУК

ГЕОЛОГИЯ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Редактор издательства *О. Л. Виноградова*
Переплет художника *И. А. Слюсарева*
Художественный редактор *В. В. Шутько*
Технический редактор *А. В. Трофимов*
Корректор *А. А. Передерникова*

ИБ № 5395

Сдано в набор 19.07.83. Подписано в печать 07.05.84. Т-09596. Формат 60×90/16.
Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл.печ. л. 14,0.
Уч.-изд. л. 16,4. Усл. кр.-отт. 14,38. Тираж 13 800 экз. Заказ 3-259/9208-2. Цена 70 коп.
Ордена „Знак Почета“ издательство „Недра“ 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Книжная фабрика „Коммунист“, 310012, Харьков-12, Энгельса, 11.

Б $\frac{320200000-211}{043(01)-84}$ 144—84

©Издательство „Недра“, 1984

В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года» указывается на необходимость полного и своевременного удовлетворения потребностей народного хозяйства и населения в перевозках. Это в свою очередь связано с увеличением масштабов строительства автомобильных дорог.

В промышленном, транспортном и других видах строительства важное место занимают инженерная геология и грунтоведение, знание которых обеспечивает решение сложных и разнообразных практических вопросов при возведении различных сооружений, в том числе и автомобильных дорог. Правильный и всесторонний учет и рациональное использование данных о геологическом строении той местности, где прокладывается автомобильная дорога, изучение состава и свойств горных пород верхней толщи земной коры, условий их залегания и увлажнения позволяют обоснованно выбрать конструкции земляного полотна, дорожных одежд, мостов и других сооружений, обеспечить их прочность и долговечность с наименьшими затратами на строительство и эксплуатацию.

При строительстве автомобильной дороги на всем ее протяжении устраивают земляное полотно, часто с большими насыпями и выемками, а также дорожную одежду. На отдельных участках дороги строят мосты и линейные здания, автомобильные станции и гостиницы, прокладывают трубы, тоннели, линии связи и т. д. Все это требует от строителя автомобильных дорог знаний не только о составе, свойствах и условиях залегания различных грунтов (горных пород), но и об их устойчивости, о водном, тепловом режиме и других особенностях.

Развернувшееся в нашей стране строительство автомобильных магистральных дорог высших технических категорий, дорог в сельских районах и на многих промышленных предприятиях должно осуществляться при наличии высококвалифицированных кадров, имеющих достаточную подготовку как в области техники дорожного строительства, так и в области геологии и грунтоведения, и способных правильно решать вопросы проектирования и прокладки автомобильных дорог с учетом влияния всего комплекса природных и грунтовых условий.

Настоящий учебник по курсу «Геология и грунтоведение» составлен в соответствии с учебной программой автомобильно-дорожных техникумов по специальности 1216 «Строительство и эксплуатация автомобильных дорог» и содержит тот объем знаний по геологии и грунтоведению, который необходим квалифицированному технику-строителю.

В настоящее издание внесены существенные дополнения, а отдельные главы значительно переработаны с учетом новых материалов по изучаемому предмету и требований нормативных документов. Это позволило увязать содержание учебника с современными техническими требованиями строительства автомобильных дорог и утвержденной программой по данному предмету.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ГЕОЛОГИЯ

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИИ И СТРОЕНИИ ЗЕМЛИ

§ 1. Предмет изучения геологии

Геология — это комплексная наука о строении Земли, ее происхождении и развитии.

Основным объектом изучения геологии является наружная твердая оболочка Земли — литосфера: ее состав, структура, происходящие в ней процессы, закономерности распределения и условия образования полезных ископаемых, в том числе и различных строительных материалов.

Изучение разнообразных горных пород, составляющих литосферу, представляет многочисленные доказательства того, что она непрерывно изменяется в процессе своего развития. Эти же доказательства подтверждают длительное естественное развитие Земли и существующих на ней растительных и животных организмов. Поэтому научные геологические взгляды на происхождение Земли и развитие жизни на ней сыграли большую роль в торжестве материалистического объяснения явлений природы.

Геологические познания широко используются в практике различных отраслей народного хозяйства.

Знание геологии помогает находить руды, нефть, уголь, всевозможные строительные материалы и другие полезные ископаемые, позволяет возводить различные инженерные сооружения (здания, мосты, дороги, плотины и т. д.) и делать их достаточно устойчивыми и долговечными с наименьшей затратой средств, труда и времени.

По мере развития производительных сил и углубления научного познания окружающего мира развивалась и геология. При этом некоторые ее разделы выделялись в самостоятельные науки. Краткая характеристика некоторых из них приводится ниже.

Одной из древнейших геологических наук, получившей развитие в связи с добычей и применением полезных ископаемых, является минералогия. Это наука о природных химических соединениях (минералах), она изучает их состав, кристаллическое строение, свойства, условия образования и практическое значение.

Кристаллография — наука о кристаллах, их внешней форме и внутренней структуре — изучает как природные минеральные тела, так и различные искусственные материалы. Кристаллическое состояние вещества очень важно учитывать в технологии строительных материалов.

Петрография — наука о горных породах земной коры, состоящих обычно из нескольких минералов. Она изучает происхождение, состав и свойства, условия залегания и географическое распространение горных пород.

Динамическая геология изучает процессы, протекающие в земной коре и на ее поверхности и преобразующие ее (движения земной коры, вулканизм, землетрясения, разрушение горных пород, перенос и отложение продуктов разрушения).

Историческая геология занимается историей развития земной коры и ее растительных и животных организмов, а также последовательностью образования пород, слагающих земную кору.

Изучением ископаемых остатков растительных и животных организмов, существовавших в прошлые геологические периоды и позволяющих устанавливать относительный возраст горных пород, занимается специальная отрасль геологии — палеонтология.

Гидрогеология — наука о подземных водах, их образовании, залегании, движении, свойствах и условиях, определяющих возможности использования их в народном хозяйстве, а также о влиянии этих вод на устойчивость инженерных сооружений, в том числе автомобильных дорог и др.

Особенно важное значение для дорожного строительства имеет четвертичная геология, в задачу которой входит изучение отложений четвертичного периода, продолжающегося до настоящего времени, с точки зрения происхождения, состава, распространения и использования их в народном хозяйстве.

Интенсивное развитие народного хозяйства в нашей стране после Великой Октябрьской социалистической революции обусловило появление новых геологических дисциплин — инженерной геологии, грунтоведения, мерзлотоведения и др.

Инженерная геология изучает современное состояние и динамику поверхностных слоев земной коры в связи с инженерной деятельностью человека. В ее задачи входит рассмотрение геологических явлений и процессов (оползней, обвалов, наледей, карста и др.), которые определяют условия возведения инженерных сооружений (мостов, зданий, дорог, плотин и др.) и характер мероприятий, обеспечивающих устойчивость естественных земляных масс.

Грунтоведение — сравнительно молодая геологическая дисциплина, изучающая происхождение, состав, строение и свойства горных пород поверхностных слоев земной коры в целях познания их как объекта инженерной деятельности человека, а также преобразования (например, укрепления). Грунтоведение органически связано с инженерной геологией и широко применяет геологические методы для изучения горных пород (грунтов). При исследо-

вании грунтов также используются методы почвоведения, физической и коллоидной химии, строительной механики и физико-химической механики дисперсных тел.

§ 2. Роль отечественных ученых в развитии геологии

Большую роль в развитии геологических наук сыграли русские ученые, начиная с М. В. Ломоносова (1711—1765 гг.), который по праву считается одним из основоположников геологии как науки. Основные геологические воззрения М. В. Ломоносов изложил в работе «Первые основания металлургии или рудных дел» с приложением «О слоях земных» (1763 г.).

В этих трудах М. В. Ломоносов впервые дал классификацию горных пород по происхождению, высказал взгляды о колебательных движениях земной коры, геологическом возрасте пород, происхождении рудных и нерудных минералов. Он объяснил причины землетрясений и сопровождающих их смещений земной коры и вулканических извержений. М. В. Ломоносов резко отвергал библейские толкования о сотворении мира.

В развитии минералогии, петрографии и кристаллографии важная роль принадлежит русским и советским ученым: В. М. Севергину (1765—1826 гг.), Е. С. Федорову (1853—1919 гг.), Ф. Ю. Левинсону-Лессингу (1861—1939 гг.), А. П. Карпинскому (1847—1936 гг.), В. И. Вернадскому (1863—1945 гг.) и многим другим.

Академик А. П. Карпинский, известный русский геолог, был первым президентом Академии наук СССР. Впервые в истории геологических наук он высказал предположение об общих закономерностях в развитии земной коры, установил и изложил общие законы, управляющие колебаниями земной коры, определил главные черты ее строения в Восточной Европе, глубоко и всесторонне изучил геологическое строение Урала. В 1893 г. А. П. Карпинский опубликовал первую отечественную геологическую карту России.

Развитие исторической и динамической геологии связано с работами И. В. Мушкетова (1850—1902 гг.), А. П. Павлова (1854—1929 гг.), В. А. Обручева (1863—1956 гг.), И. М. Губкина (1871—1939 гг.) и др.

Академик В. А. Обручев — выдающийся исследователь геологического строения и полезных ископаемых Центральной Азии и в особенности Сибири. Его перу принадлежат свыше тысячи работ и среди них такие выдающиеся труды, как «Геология Сибири» (1935—1938 гг.) и «История геологических исследований Сибири».

Большой вклад в развитие представлений о составе Земли внес академик А. Е. Ферсман (1883—1945 гг.). В своем труде «Геохимия» он изложил основы истории химических элементов и законы распределения и перемещения их в земной коре, сформулировал теоретические и практические принципы использования земных недр.

В развитии наиболее молодых отраслей геологии — инженерной геологии и грунтоведения — большую роль сыграли труды Ф. П. Са-

варенского (1881—1946 гг.), М. М. Филатова (1877—1942 гг.), а в более поздние годы — В. А. Приклонского, Е. М. Сергеева и других ученых.

§ 3. Значение геологии в дорожном строительстве

Строительство современных автомобильных дорог требует устройства земляного полотна и дорожных одежд, возведения мостов, труб, жилых, служебных и промышленных зданий, а иногда и тоннелей. Все эти сооружения строят на поверхности земной коры или в ее толще. При этом возникает необходимость в устройстве высоких насыпей или закладке глубоких выемок с проведением мероприятий, обеспечивающих устойчивость откосов. Естественно, что при постройке дорог строителю важно знать, какие породы будут служить основанием для сооружений, как они залегают, как изменяются их свойства, а следовательно, и устойчивость, будет ли встречена при закладке оснований вода и т. д.

Земная кора состоит из разнообразных горных пород. Одни из них прочны и устойчивы, другие при передаче на них давления выдавливаются или сжимаются, вызывая осадку сооружений. Некоторые горные породы (например, глина) при малой влажности и большом уплотнении устойчивы в основании сооружений, а при насыщении водой размокают и становятся неустойчивыми. На устойчивость сооружений сильно влияют условия залегания пластов горных пород (горизонтальное, наклонное или вертикальное). В практике известно немало случаев сползания одного пласта по другому, что приводило к разрушению сооружений.

Стремление придать дорожным сооружениям высокую прочность и долговечность при минимальных расходах средств и материалов требует тщательного и всестороннего изучения геологических условий территории строительства и учета их при проектировании и постройке.

Для этого при изыскании под автомобильные дороги ведутся инженерно-геологические обследования по всей трассе дороги с более подробным изучением участков глубоких выемок, крутых косогоров, переходов через реки и болота, т. е. мест, где инженерно-геологические условия могут оказать наибольшее влияние на сооружение.

Весьма большое значение имеет изучение геологического строения местности при решении вопроса о наличии дорожно-строительных материалов. Для строительства 1 км автомагистрали I—II технической категории обычно необходимо иметь 4—10 тыс. м³ материалов — камня, песка, гравия и т. д. Изыскания местных материалов вблизи дорог и их использование позволяют значительно экономить средства.

Недоучет геологических условий и их влияния сильно усложняет проведение работ, удорожает строительство и приводит к излишним расходам на ремонты и переустройство инженерных сооружений в процессе их эксплуатации. Поэтому при проектиро-

вании и строительстве автомобильных дорог необходимо в максимальной степени учитывать и использовать весь комплекс природных условий района, где строится дорога.

§ 4. Земля и ее форма

Земля с другими планетами (Меркурием, Венерой, Марсом, Юпитером, Сатурном, Ураном, Нептуном, Плутоном) входит в состав Солнечной системы и равномерно вращается с запада на восток вокруг центрального тела системы — Солнца. Солнце с его планетами входит в систему звезд, объединяемых под названием Галактика. Число звезд в Галактике — около 100 млрд.

Происхождение Земли — важнейший вопрос естествознания, объясняемый различными учеными по-разному. По гипотезе И. Канта (середина XVIII в.), позднее дополненной П. Лапласом, Земля образовалась из раскаленных газов, которые по мере охлаждения переходили в жидкое, а затем в твердое состояние.

Взамен этих гипотез советским ученым О. Ю. Шмидтом была выдвинута гипотеза холодного происхождения планет Солнечной системы, в том числе и Земли.

По гипотезе О. Ю. Шмидта, Солнце на своем пути пересекло одно из пылевых облаков Галактики. При выходе из облака Солнце захватило значительную часть пылевой материи, которая начала вращаться вокруг него. В пылевой массе со временем образовались участки сгущенной и уплотненной материи, которые затем превратились в планеты Солнечной системы. Таким образом, Земля образовалась путем постепенного сгущения и последующего уплотнения холодного твердого пылевидного космического материала.

Академик В. Г. Фесенков считает, что в недрах Солнца протекали и протекают различные ядерные процессы, которые могли привести к сжатию Солнца и резкому увеличению скорости его вращения. В результате этого в далеком прошлом могли выделиться и образоваться отдельные планеты. По В. Г. Фесенкову, химический состав планет Солнечной системы и исходного космического вещества должен быть близким. Все планеты этой системы образовались примерно в одно и то же время, но позднее Солнца.

Возраст Земли как планеты, судя по древнейшим минералам и метеоритам, определяется приблизительно в 5 млрд. лет.

Огромные успехи, достигнутые Советским Союзом в запуске спутников Земли, космических ракет и кораблей с человеком на борту, первый выход человека в космос, осуществленный советским космонавтом Алексеем Леоновым, высадка аппаратов и человека на Луну — все это открыло путь для практического изучения космоса в широких масштабах. Успехи науки в исследованиях космоса приближают человечество к разгадке многих тайн Вселенной и в том числе происхождения Земли и других планет.

Замеры длины дуг земной поверхности показали, что Земля имеет форму, близкую к шару, сплюснутому у полюсов.

Экваториальный диаметр Земли равен 12756 км, а земная ось составляет 12714 км. Следовательно, сплюснутость земного сфероида выражается в 42 км. Точные измерения, выполненные в последнее время, показали, что в действительности имеются некоторые отклонения истинной формы Земли от сфероида, связанные с наличием на Земле глубоких впадин в океанах и больших возвышенностей на суше. Такая искривленность поверхности не позволяет приписывать Земле какую-либо правильную геометрическую форму. Своеобразная искривленная форма Земли получила название геоида.

§ 5. Строение Земли и ее оболочек

Внутреннее строение Земли всегда интересовало человечество и служило предметом исследований многих ученых. Несмотря на это, достоверных данных о внутреннем строении Земли пока еще мало. Изучение и точное знание строения Земли имеет важное научное и практическое значение.

Земля имеет концентрическое строение и состоит из ядра и ряда оболочек, плотность которых скачкообразно увеличивается от твердой поверхности планеты к ее центру. Концентрические оболочки Земли получили название геосфер.

Наружной геосферой является атмосфера, представляющая собой воздушную оболочку, окружающую Землю и вращающуюся вместе с ней. Атмосфера имеет слоистое строение. Отдельные слои ее различаются своими физическими и химическими свойствами (температурой, химическим составом, ионизацией молекул).

Нижняя часть атмосферы называется тропосферой и распространяется до высоты 16—18 км в экваториальном поясе и до 8—10 км в полярных широтах. Тропосфера содержит около 80% всей массы атмосферы и почти весь водяной пар. В ней происходит образование облаков и сосредоточиваются тепловые движения воздуха, включая также все геологические процессы, протекающие над поверхностью Земли (например, перенос веществ при извержениях вулканов, эоловые процессы).

Над тропосферой до высоты 55 км расположена стратосфера, в которой заключено почти 20% всей массы атмосферы. Температура стратосферы до высоты примерно 25 км снижается до минус 40—80 °С, а затем начинает расти, достигая 0 °С максимума на высоте 50—55 км.

Гидросфера — представляет собой оболочку Земли, включающую все природные воды морей и океанов, рек, озер, а также материковые льды Арктики и Антарктиды. В отличие от других геосфер гидросфера не образует сплошной оболочки Земли. Она покрывает 70,8% земной поверхности и включает Мировой океан (непрерывную водную оболочку Земли, окружающую материки и острова). Средняя глубина Мирового океана 3,795 км, наибольшая глубина достигает 11022 м (Марьянская впадина).

Наружная твердая сфера Земли, называемая литосферой,

различными методами исследована на глубину 15—20 км. Непосредственному изучению при помощи буровых скважин подверглась толща лишь до глубины 12 км.

Третья часть поверхности литосферы приходится на выступы, образующие материки. Высочайшей точкой материков является гора Эверест в Гималаях, высота которой достигает 8848 м. Средняя высота материковых выступов — всего около 875 м над уровнем моря.

Земная кора (верхняя часть литосферы) сложена разнообразными горными породами, включающими минералы, т. е. определенные химические соединения или, реже, самородные химические элементы, отличающиеся однородностью состава и физических свойств. Химический состав литосферы до глубины 16 км характеризуется преобладанием следующих элементов (по А. П. Виноградову, в % по массе):

Кислород	46,8	Натрий	2,6
Кремний	27,3	Калий	2,6
Алюминий	8,7	Титан	0,6
Железо	5,1	Водород	0,15
Кальций	3,6	Углерод	0,1
Магний	2,1	Фосфор	0,08

Остальные многочисленные химические элементы в сумме составляют около 0,3 % состава земной коры.

Атмосфера, гидросфера и литосфера находятся в постоянном взаимодействии, в результате которого происходят существенные изменения в составе и строении земной коры.

В составе литосферы выделяют слой осадочный (до 20 км), а затем гранитный и базальтовый.

Гранитный слой наибольшей мощности (до 40 км) достигает под современными горными хребтами (например, Памира, Альп и др.). Под океаническими впадинами он местами совершенно отсутствует или имеет малую толщину. Гранитный слой имеет плотность 2,5—2,75 т/м³ и сложен породами гранитного состава.

Базальтовый слой располагается непосредственно под гранитным. Мощность его достигает 30 км под материковыми равнинами (платформами). Плотность базальтового слоя, сложенного основными породами (базальтами и др.), бедными кремнекислотой, 2,75—3,0 т/м³.

Общая мощность земной коры достигает 70 км. Это самая однородная и сложно построенная оболочка.

Глубже расположена мантия, состоящая из трех слоев и простирающаяся до глубины 2900 км, где она граничит с ядром Земли. Мантия состоит из пород еще более основных (т. е. с меньшим содержанием кремнекислоты), чем в базальтовом слое. Плотность пород в верхнем слое мантии равна 3,3—3,5 т/м³. Нижняя мантия мощностью около 2000 км имеет плотность 5,6—5,9 т/м³.

Внутренняя часть Земли — ядро — начинается с глубины 2900 км и доходит до центра Земли. Оно делится на внешнее ядро

с плотностью 9,0—11,0 т/м³ и субъядро с радиусом около 1,3 тыс. км и плотностью до 12,5 т/м³ в центре. Большая плотность земного ядра объясняется тем, что составляющие его породы находятся под весьма большим давлением и поэтому оно приобрело плотность металлов.

Глава II.

МИНЕРАЛЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ

§ 1. Общие сведения о минералах и их физических свойствах

Земная кора (наружная оболочка литосферы) состоит из различных горных пород, которые в свою очередь состоят из минералов.

Минералы — это природные тела приблизительно однородного состава, представляющие собой химические элементы или химические соединения, образующиеся в результате различных физических и химических процессов, протекающих в земной коре. Среди минералов встречаются химические соединения как постоянного, так и переменного состава.

Для каждой группы пород характерны свои породообразующие и редкие минералы. В настоящее время известно около 3000 минералов и их разновидностей. В образовании горных пород, используемых для дорожного строительства, наибольшее значение и распространение имеют всего 20—25 минералов.

Большинство минералов обладает правильным кристаллическим строением. Атомы кристаллических тел расположены в виде правильных пространственных решеток. Кристаллическое строение в одних случаях может быть выражено весьма отчетливо, при этом минералы имеют вид правильных многогранников весьма разнообразной формы, а в других — слабо, и тогда можно наблюдать только отдельные плоскости кристаллов и углы. Многие физические свойства кристаллических тел неодинаковы в разных направлениях.

В кристаллическом строении минералов всегда наблюдается симметрия, т. е. закономерность, выражающаяся в расположении граней, ребер и углов кристалла по отношению к определенным точкам, линиям и плоскостям кристаллов.

Совокупность нескольких классов кристаллов с одинаковыми элементами симметрии и сходными углами между кристаллографическими осями называется сингонией (кристаллографической системой). Существует всего семь сингоний (систем). Наиболее часто в природе встречаются кристаллы минералов, относящиеся к кубической, ромбической и гексагональной (шестиугольной) сингониям.

В тех случаях, когда минералы не имеют никаких внешних признаков правильного строения, их часто называют некрист-

таллическими, или аморфными. Таковы, например, каолинит, кремь и др. Некристаллических минералов в природе очень мало, и при помощи точных анализов (например, рентгенографическим методом) можно установить, что атомы, входящие в состав каолинита и других внешне аморфных минералов, связаны между собой по принципу кристаллических решеток.

Распознавание минералов проще всего производить по их морфологическим (внешним) признакам и физическим свойствам. Главнейшими из них являются цвет, твердость, спайность, блеск, характер излома и др.

Цвет минералов обусловлен их химическим составом и может значительно изменяться в зависимости от наличия примесей. Выделяют следующие две основные группы минералов: 1) светлые, к которым относятся бесцветные и окрашенные в белый, серый, желтый или розовый цвет (например, кварц, гипс, кальцит); 2) темные, обычно малопрозрачные, имеющие черный, зеленый, коричнево-бурый (например, роговая обманка, змеевик) и другие цвета.

Твердость — это сопротивляемость вещества минерала механическому воздействию. Относительная твердость минерала определяется сопоставлением его с другими минералами, твердость которых заранее известна. Для определения твердости по свежей поверхности испытуемого минерала проводят, слегка надавливая, острым краем другого минерала, и если на испытуемом минерале появляется углубленная черта, то его твердость ниже твердости минерала, которым проведена черта. Твердость минералов в известной степени является показателем их прочности и способности к истиранию.

По степени возрастающей твердости минералы по шкале Мооса располагаются в последовательности, приведенной в табл. 1. Эта шкала построена по принципу, что каждый последующий минерал острым углом царапает предыдущий.

Таблица 1

Шкала твердости

Минералы	Твердость	Признаки для определения в полевых условиях
Тальк	1	Мягкий карандаш оставляет царапину, легко чертится ногтем
Гипс	2	Чертится ногтем
Кальцит	3	Латунная монета оставляет царапину
Флюорит	4	Стекло оставляет царапину
Апатит	5	Стальной перочинный нож оставляет царапину, а минерал на поверхности ножа оставляет неясную царапину; стекло не царапает
Ортоклаз	6	Нож оставляет едва заметную царапину; царапает стекло
Кварц	7	Ножом не чертится
Топаз	8	Режет стекло, кварц не царапает
Корунд	9	Царапает кварц
Алмаз	10	—

Спайность — способность кристаллических минералов раскалываться при ударе по определенным направлениям с образованием гладких плоскостей раскола. Спайность может быть: 1) весьма совершенной, когда минерал легко расщепляется на очень тонкие листочки или пластинки (например, слюда); 2) совершенной, когда при расщеплении минерал дает обломки, ограниченные правильными плоскостями (например, каменная соль, известковый шпат, ортоклаз); 3) несовершенной, когда на осколках минерала только местами бывают заметны небольшие гладкие площадки (например, апатит, пирит); 4) весьма несовершенной, когда минерал при ударе раздробляется без образования признаков плоскостей спайности (например, кварц).

Чтобы установить наличие спайности, надо внимательно осмотреть поверхность излома минерала при отраженном свете, поворачивая минерал в разные стороны.

Блеск. Блеск минерала обуславливается различным отражением света от его поверхности. Различают следующие виды блеска, характерные для минералов, наименования которых приведены в скобках: стеклянный (кварц, полевые шпаты); жирный (тальк); металлический (пирит); шелковистый, обусловленный волокнистым строением минерала (волокнистый гипс — селенит); перламутровый, обусловленный отражением света внутри минерала от плоскостей спайности (слюда), матовый, когда свет отражается слабо (каолинит).

Излом — форма поверхности, образующейся при раскалывании минералов, не обладающих спайностью. Различают излом раковистый (кварц), землистый (каолинит) и др.

Классификация минералов. Современная наука при изучении минералов базируется на двух основных принципах: 1) кристаллохимическом и 2) генетическом. Исходя из этих принципов, принято классифицировать минералы, учитывая их строение и химический состав.

Наиболее рациональной и распространенной является классификация минералов, предложенная С. Д. Четвериковым с разделением их на следующие десять классов:

Классы	Минералы	Классы	Минералы
I	Силикаты	VI	Сульфаты
II	Карбонаты	VII	Галлоиды
III	Окислы	VIII	Фосфаты
IV	Гидроокислы	IX	Вольфраматы
V	Сульфиды	X	Самородные элементы

Силикаты представляют собой наиболее многочисленный класс, включающий примерно около трети всех известных минералов. Они составляют около 85 % массы земной коры. Горные породы, содержащие минералы, относящиеся к классу силикатов, широко используются в строительстве дорог и аэродромов.

§ 2. Главные породообразующие минералы и их определение

Из большого числа минералов литосферы в верхней ее части наиболее распространены следующие породообразующие минералы: кварц, полевые шпаты, роговая обманка, авгит, слюды, оливин, тальк, хлорит, известняковый шпат (кальцит), доломит, гипс, змевик, апатит, каолинит и др.

Распространенность породообразующих минералов в литосфере следующая (в %): полевых шпатов 57,9; роговой обманки, авгита, оливина и змевика 16,8; кварца 12,6; слюды 3,6; известковых шпатов 1,5; каолинита и других глинистых минералов 1,1. На все другие минералы приходится 6,5 %.

В верхней части земной оболочки, где наиболее интенсивно протекают процессы разложения минералов, содержание кварца, каолинита, лимонита и некоторых других минералов возрастает.

Полевые шпаты. В эту группу входит целый ряд кристаллических минералов (силикатов), родственных по химическому составу и близких по физическим свойствам. Полевые шпаты характеризуются высокой твердостью (6), совершенной спайностью и хорошо заметным стекляннм блеском. Различают два основных вида полевых шпатов: ортоклазы и плагиоклазы.

Ортоклазы представляют собой калиевую соль алюмокремниевой кислоты. Они имеют розовый, красный, желтый или серо-розовый цвет, реже белый или серый, плотность 2,5—2,6 т/м³. Раскалываются с образованием плоскостей спайности в двух направлениях, пересекающихся под прямым углом. Ортоклазы входят в состав гранитов, гнейсов, сиенитов и других пород, часто в весьма больших количествах. Так, в гранитах СССР содержание ортоклаза достигает 60—70 %.

Плагиоклазы по химическому составу представляют собой натрокальциевые соли алюмокремниевой кислоты с различными соотношениями натрия и кальция. Раскалываются с образованием косоугольного угла между плоскостями спайности. Цвет плагиоклазов темно-серый или зеленовато-серый; плотность 2,60—2,65 т/м³. Плагиоклазы являются важнейшей составной частью таких горных пород, как диориты, габбро, диабазы и др. Разновидность плагиоклаза, обладающая красивым синевато-фиолетовым отливом, носит название лабрадора.

Роговая обманка и авгит. Эти минералы представляют собой сложные силикаты (соли кремневых кислот), содержащие железо, кальций и магний. Твердость по шкале Мооса 5—6; плотность 3,02—3,45 т/м³; цвет от темно-зеленого до черного. Роговая обманка является составной частью целого ряда горных пород — гранитов, сиенитов, диоритов и др. Авгит же входит в состав таких горных пород, как габбро, диабазы, базальты и др. Так как по физическим свойствам эти минералы сходны между собой, то отличить роговую обманку от авгита можно только с помощью микроскопа.

Слюды. Различают два основных вида слюд: биотит, или черную слюду, и мусковит, или белую слюду. Как биотит, так и мусковит являются сложными кислыми алюмосиликатами, в состав которых входят железо, магний и калий.

Характерной особенностью слюд является весьма совершенная спайность, т. е. способность расщепляться на тончайшие листочки. Твердость их 2—4; блеск стеклянный или перламутровый; плотность 2,7—3,5 т/м³. Слюды являются весьма распространенными минералами, входящими в состав многих горных пород: гранитов, сениитов, слюдяных сланцев и др.

О л и в и н (перидот) представляет собой железомagneвную соль ортокремневой кислоты. Это оливково-зеленый кристаллический минерал с твердостью 6—7 и плотностью 3,2—4,6 т/м³. Входит в состав таких горных пород, как диабаз и базальт. Некоторые породы почти целиком состоят из оливина (дунит и перидотит).

Х л о р и т. По химическому составу хлорит является водным силикатом сложного состава. Это вторичный минерал, образовавшийся путем разложения слюд, роговых обманок или авгита под большим давлением и в присутствии воды. Для хлорита характерна зеленая окраска, небольшая твердость 2—3, стеклянный или жирный блеск и плотность 2,6—3,0 т/м³. Хлориты встречаются в больших скоплениях, образуя особые горные породы — хлоритовые сланцы. Последние слагают целый ряд горных массивов Урала, Алтая и других горных районов. Иногда хлориты встречаются в составе изверженных пород в форме мелких табличек зеленого цвета.

К а о л и н и т образуется в результате выветривания полевых шпатов и других алюмосиликатов и представляет собой по внешнему виду землистый минерал. Цвет — белый, иногда желтоватый; блеск — матовый; твердость 1—3; плотность — 2,5—2,6 т/м³.

По химическому составу каолинит представляет собой комплексную алюмокремневую кислоту. В чистом виде встречается сравнительно редко (в УССР, на Урале, близ Иркутска и т. д.), но широко распространен как составная часть многих глин.

К а л ь ц и т, или известковый шпат, — минерал вторичного происхождения. Он относится ко II классу минералов. Кристаллический кальцит (CaCO_3) образует ясно видимые кристаллы, раскалывающиеся при ударе по плоскостям спайности на ромбоэдры — вытянутые по диагонали кубы. Цвет кальцита белый, иногда окрашенный примесями; блеск стеклянный; излом — по спайности; плотность 2,7 т/м³; твердость 3. Встречается в больших скоплениях, образуя горные породы — мрамор и кристаллические известняки.

Невыкристаллизовавшийся кальцит, главным образом в виде скоплений скелетных остатков различных морских организмов, может образовывать землистые массы (мел) или плотные каменные образования (известняки). Кальцит легко распознается по вскипанию при действии разбавленной соляной кислоты в результате выделения углекислоты.

Близко к кальциту по химическому составу стоит минерал доломит, представляющий собой двойную соль кальция и магния ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). Он характеризуется несколько большей, чем у кальцита, твердостью (3,5—4,0) и вскипает при действии 10%-ной соляной кислоты только при нагревании и предварительном измельчении его в порошок.

Кварц — двуокись кремния (SiO_2) — широко распространен в природе. Относится к III классу минералов; чаще всего бесцветный или белый, но может быть окрашен в различные цвета; твердость по шкале Мооса 7; спайность отсутствует; блеск стеклянный; плотность 2,65 т/м³.

Кварц входит в состав таких горных пород, как граниты, гнейсы, кварциты, кварцевые песчаники, пески и др. В чистом виде встречается иногда в форме жил среди других горных пород. Кварц в физическом и химическом отношении является весьма устойчивым минералом. Прозрачную кристаллическую разновидность его называют горным хрусталем.

Помимо кристаллического кварца встречаются еще скрытокристаллические (непрозрачные) разновидности двуокиси кремния: кремень, роговик, халцедон и др.

Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) — кристаллический минерал, чаще всего белого, иногда серого, желтого или розового цвета. Твердость 2; блеск стеклянный, иногда перламутровый; спайность совершенная, но видна только в крупных кристаллах; плотность 2,3 т/м³. Относится к VI классу минералов — сульфатам. Встречается в виде самостоятельной горной породы, а также в составе других осадочных пород.

Кристаллическая или скрытокристаллическая безводная разновидность гипса — ангидрит (CaSO_4) — характеризуется несколько большей твердостью, чем гипс (3,0—3,5).

Пирит, или серный колчедан (FeS_2) — минерал золотисто-желтого цвета с твердостью 6, плотностью 5,0 т/м³ и металлическим блеском. Цвет черты на неглазированной пластинке черный. Часто кристаллизуется в виде кубиков различных размеров. Относится к V классу минералов — сульфидам. Встречается как второстепенный минерал в гранитах, сиенитах, диоритах, различного рода сланцах, мраморах и известняках.

При действии кислорода воздуха и воды пирит разрушается с образованием серной кислоты. Последняя в свою очередь разрушает ту горную породу, в которую пирит вкраплен. Однако, как показали наблюдения за скоростью разложения пирита, процесс этот совершается сравнительно медленно.

Применение горных пород, содержащих пирит, в качестве материала для возведения сооружений, рассчитанных на длительный срок службы, нежелательно, так как это может значительно сократить срок службы сооружения.

Бурый железняк, или лимонит ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), представляет собой минерал ноздреватого или землистого сложения. Относится к IV классу минералов. Цвет минерала буровато-жел-

тый, красно-бурый, коричневый; твердость 4,0—5,5; плотность 3,4—3,5 т/м³. Образуется как вторичный минерал путем разложения магнитного железняка или выпадения из грунтовых вод в местах выхода их на дневную поверхность (болотная руда). Весьма широко распространен в различных формах как в виде самостоятельных скоплений, так и в виде примесей в горных породах. Присутствие лимонита придает характерную красновато-бурую или желтую окраску глинам, пескам и другим горным породам.

Определение минералов. Существует ряд методов определения минералов: кристаллографический, оптический, рентгеноскопический, химический и др. Они применяются в лабораторной обстановке и требуют наличия специального, подчас довольно сложного оборудования. Так, например, для определения минералов оптическим методом требуется специальный поляризаторный микроскоп.

Широкое применение в практике получил так называемый полевой метод (макроскопический), основанный на определении физических свойств минералов. Для определения минералов этим методом применяется простейшее оборудование и реактивы: молоток, перочинный нож, лупа 7—10-кратного увеличения, стекло, флакон с 10%-ным раствором соляной кислоты.

С помощью молотка обкалывают края образцов, чтобы получить свежий излом. Определение физических свойств ведут в следующем порядке: цвет, твердость, спайность, блеск, излом. Например, для определения взят белый минерал. По цвету относят его к группе светлых минералов, в которую из числа породообразующих минералов входят кварц, полевой шпат, кальцит, гипс, каолинит, белая слюда (мусковит).

Далее определяют твердость минерала царапанием его свежей поверхности ножом. Если нож не царапает минерал, то твердость его более 5,5, и, следовательно, определяемый минерал должен быть отнесен к кварцу или белому полевому шпату (ортоклазу).

Дальнейшее уточнение осуществляется путем определения спайности и характера излома. У кварца спайность отсутствует, у полевого шпата она ясно заметна; излом у кварца — раковистый, у полевого шпата — по спайности. Кроме того, для полевых шпатов характерен сильный стеклянный блеск. По цвету можно определить и разновидность полевого шпата. Для ортоклаза характерен розовый, мясо-красный, серый, реже чисто белый цвет; для плагиоклаза — серо-зеленоватый и темно-серый.

Если стальной нож царапает минерал, то твердость минерала менее 5, и, таким образом, его можно отнести к одному из следующих минералов: кальциту, гипсу, мусковиту, каолиниту. Если на поверхности испытуемого минерала оставляет след ноготь, то его твердость около 2.

Пусть испытуемый минерал обладает совершенной волокнистой спайностью и имеет шелковистый блеск. При действии на минерал соляной кислоты обнаруживается, что образец от капли соляной кислоты не вскипает. Такой же результат получен и при действии



соляной кислоты на порошок минерала. Нетрудно убедиться, что испытуемый минерал представляет собой волокнистый гипс. При наличии весьма совершенной спайности, когда минерал расщепляется на тонкие листочки, он должен быть отнесен к мусковиту. Если же испытуемый минерал вскипает от капли соляной кислоты, то он является кальцитом.

Г л а в а III

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

§ 1. Классификация горных пород

Разнообразные горные породы, слагающие земную кору, представляют собой плотные или рыхлые минеральные агрегаты различного состава и свойств. Они могут состоять из нескольких различных минералов (полиминеральные) или из одного минерала (мономинеральные). К полиминеральным породам относится, например, гранит, главными породообразующими минералами которого являются кварц, полевые шпаты, слюды и роговая обманка. Примером мономинеральных пород может служить гипс, состоящий из минерала того же наименования.

Некоторые горные породы широко применяются в качестве строительных материалов при строительстве дорог, мостов, зданий и других сооружений. Горные породы являются также естественными основаниями сооружений. При устройстве выемок, заложении котлованов или постройке тоннелей приходится вести разработку горных пород. Это требует изучения условий залегания горных пород и их физико-механических свойств.

Горные породы верхней толщии земной коры, находящиеся в сфере инженерной деятельности человека, получили название **г р у н т о в**.

По происхождению (генезису) горные породы разделяют на три большие группы: изверженные (магматические), осадочные и метаморфические.

В свою очередь указанные группы делят на подгруппы по условиям происхождения согласно приведенной ниже схеме:

Г р у п п ы	П о д г р у п п ы
Изверженные	Глубинные Излившиеся
Осадочные	Обломочные Органогенные
Метаморфические	Химические Сланцеватые Несланцеватые

Обломочные горные породы могут быть рыхлыми и сцементированными.

§ 2. Изверженные горные породы

Изверженные (магматические) горные породы образовались в результате застывания магмы, которая образуется в земной коре или верхней мантии и представляет собой расплавленную, сложную по составу массу. В составе магмы содержится от 80 до 85% кремнезема (SiO_2). Раскаленное вещество глубоких слоев земной коры удерживается в относительно твердом виде высоким давлением. При уменьшении давления, например в трещинах раскола, оно переходит в состояние огненно-жидкой и вязкой магмы, насыщенной газами и парами воды.

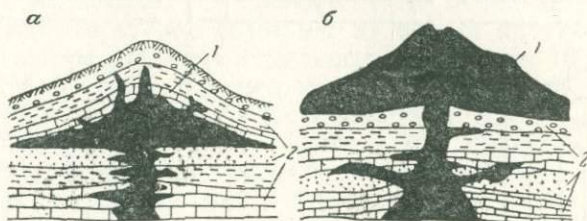


Рис. 1. Схема образования магматических пород:
а — глубинных; б — излившихся. 1 — магма; 2 — слои разных пород

По трещинам в земной коре она поднимается в поверхностные толщи или изливается на дневную поверхность. Если магма не в состоянии прорвать поверхностные толщи и, медленно охлаждаясь, затвердевает, не достигнув земной поверхности, то образуются **глубинные** (интрузивные) горные породы. Таковы, например, граниты, сиениты и диориты. Если же магма изливается на поверхность земли в виде лавы, то она сравнительно быстро охлаждается и, затвердевая, образует **излившиеся** (эффузивные) горные породы, например диабазы, базальты, порфириты и др. Схема образования глубинных и излившихся горных пород показана на рис. 1. Если магма медленно остывает при большом давлении, происходит полная кристаллизация минералов с выделением крупных кристаллов; при более быстром остывании образуются мелкие кристаллы. В том случае, когда остывание магмы происходит очень быстро при незначительном давлении (на поверхности земли), происходит образование стекловидных или скрытокристаллических пород. В нижней части лавового потока могут образовываться мелкокристаллические породы, в верхней же части образуются некристаллизованные, иногда пористые породы (пемзы, туфы), что связано с выделением из лавы газов и паров.

Химический состав. В составе изверженных горных пород находят все известные химические элементы. Количество этих веществ в породах принято выражать в виде процентного содержания соответствующих окислов. Наибольшее распространение имеют: SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; CaO ; MgO ; Na_2O ; K_2O . В сумме эти окислы составляют около 98%, оставшиеся 2% приходятся на другие, менее распространенные химические вещества.

По содержанию кремнезема (SiO_2) изверженные породы делят на четыре группы: 1) кислые ($\text{SiO}_2 > 65\%$) — граниты, кварцевые порфиры и др.; 2) средние ($\text{SiO}_2 = 65-52\%$) — сyenиты, диориты, порфириды, трахиты и др.; 3) основные ($\text{SiO}_2 = 52-40\%$) — габбро, базальты, диабазы и др.; 4) ультраосновные ($\text{SiO}_2 < 40\%$) — перидотиты, пироксениты и др.

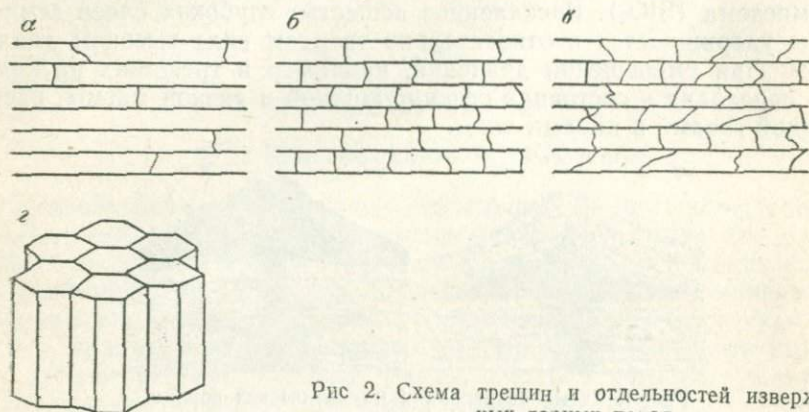


Рис 2. Схема трещин и отделностей изверженных горных пород

Прочность и устойчивость пород к воздействию агентов выветривания, а также некоторые технические свойства пород, например сцепление поверхности горных пород с вяжущими материалами, применяемыми при строительстве автомобильных дорог (цементом, битумом, дегтем и др.), тесно связаны с их химическим и минеральным составом.

Трещины и отделности. При охлаждении магмы происходит уменьшение ее объема, что вызывает образование в породе трещин, разделяющих массу породы на отделности, т. е. на куски или глыбы разнообразной формы. В зависимости от системы расположения трещин наблюдаются плитообразная, параллелепipedальная, глыбовая, многогранная, столбчатая и шарообразная отделности.

Плитообразная отделность (рис. 2, а) образуется при наличии частых горизонтальных и весьма редких вертикальных трещин, что позволяет при разработке получать плиты породы крупных размеров.

В том случае, когда порода разбита частыми горизонтальными и вертикальными трещинами, отделности имеют параллелепipedальную форму (см. рис. 2, б).

При неправильной системе трещин получаются глыбовая или матрицевидная отделности (см. рис. 2, в). Система трещин, пересекающих породу в нескольких определенных направлениях, приводит к образованию многогранной отделности.

Трещины могут также разделять породу на многогранные столбы — столбчатые отделности (см. рис. 2, г) или шарообразные глыбы — шарообразные отделности.

При организации разработки горных пород необходимо учитывать наличие определенной системы трещин и отдельностей, так как от них во многом зависит направление разработок, способы ведения взрывных работ, вид и количество получаемой продукции.

Структура. Структурой принято называть строение породы, определяемое различным сочетанием, размерами и формой составляющих породу минералов. Различают следующие основные виды структуры: кристаллическизернистую, скрытокристаллическую, порфиловую, стекловатую.

Кристаллическизернистая структура характеризуется тем, что порода целиком состоит из кристаллических зерен различных минералов. По величине зерен породы с кристаллическизернистой структурой делят на: а) весьма крупнозернистые — с максимальным размером отдельных кристаллов 10 мм и более; б) крупнозернистые — с размером кристаллов 10—5 мм; в) среднезернистые — с размером кристаллов 5—1 мм; г) мелкозернистые — с размером кристаллов менее 1 мм. Кристаллическизернистая структура присуща гранитам, сиенитам, диоритам и другим породам. В том случае, когда кристаллы минералов имеют удлиненную форму, структура носит название игольчатой.

При скрытокристаллической структуре зерна минералов настолько малы, что отдельные кристаллы не видны даже в лупу. Эта структура присуща многим излившимся породам.

Порфиловая структура характеризуется тем, что в некристаллизованной или мелкозернистой основной массе выделяются редкие крупные кристаллы, называемые вкрапленниками. Такая структура наблюдается у порфиров, порфиритов и других пород. Если же вкрапленники имеются в мелко- или среднезернистой массе, структуру называют порфировидной.

У породы со стекловатой структурой отсутствует кристалличность входящих в состав породы минералов. Обычно масса породы состоит из вулканического стекла, образовавшегося при быстром остывании магмы. Для пород с такой структурой характерен раковистый излом.

Сложение, или текстура, пород. Характер расположения зерен минералов в породе принято называть текстурой. Различают следующие виды текстуры: однородная, неоднородная, сланцеватая, пористая и др.

Однородная (массивная) текстура имеет беспорядочное, но равномерное расположение зерен минералов (гранит, диабаз и др.).

Неоднородная текстура отличается неравномерным расположением минералов (иногда гнездообразным).

При сланцевой текстуре входящие в горные породы зерна минералов располагаются параллельно друг другу. Эта текстура свойственна главным образом метаморфическим породам.

Глубинные горные породы характеризуются массивным сложением, полнокристаллической структурой, весьма малой пористостью, большой прочностью и устойчивостью против атмосферных

воздействий. Главнейшими представителями их являются граниты, сиениты, диориты и габбро.

Граниты представляют собой весьма прочные горные породы, состоящие главным образом из калиевого полевого шпата (40—60 %), кварца (20—40 %), слюды и реже роговой обманки (5—20 %). В гранитах могут присутствовать в небольшом количестве второстепенные минералы — пирит, магнетит и др.

В зависимости от структуры граниты разделяют на мелко-, средне- и крупнозернистые. Некоторые разновидности гранитов имеют порфировидную структуру. К ним относится и весьма крупнозернистый гранит, получивший название рапакиви (по-фински — гнилой камень). Он широко распространен в Карелии и был применен при строительстве многих сооружений г. Ленинграда. Цвет гранитов — серый, розовый, красный, с темными и светлыми оттенками. Физико-механические свойства гранитов следующие: плотность сухой породы 2,55—2,70 т/м³; пористость 0,41—1,0 %; водопоглощение 0,15—0,5 %; предел прочности при сжатии 100—250 (чаще 120—160) МПа.

Небольшая пористость и незначительное водопоглощение гранитов при значительном сцеплении входящих в их состав минеральных зерен обуславливают высокую стойкость гранитов против разрушающего действия природных агентов — колебаний, температуры (особенно возрастающего при переходе через 0 °С).

Прочность и устойчивость различных гранитов против атмосферных влияний зависят главным образом от их минерального состава и структуры. Мелко- и среднезернистые граниты обычно обладают большей прочностью и устойчивостью, чем крупнозернистые.

В связи с высокой прочностью, морозостойкостью и хорошей обрабатываемостью (колкостью) граниты получили широкое применение в строительстве различных сооружений. Из них изготавливают различного рода штучные камни (брусчатку, шашку для мощения, бордюрные и облицовочные камни) и щебень.

В СССР граниты распространены на Кольском полуострове, в Карелии, на Украине, в центральных частях Уральского и Кавказского хребтов, в некоторых районах Средней Азии, Восточной Сибири, Дальнего Востока и др.

Сиенит представляет собой сложную полнокристаллическую породу, состоящую из ортоклаза и темного минерала — роговой обманки, реже биотита. От гранита отличается отсутствием кварца.

По внешнему виду и физико-механическим свойствам сиениты близки к гранитам. В связи с отсутствием кварца они несколько мягче гранитов и легче поддаются обработке. В дорожном строительстве применяются для тех же целей, что и граниты.

На территории СССР сиениты встречаются гораздо реже гранитов. Месторождения их имеются на Урале, в Восточной Сибири, в УССР, на о-ве Сахалине, Кольском полуострове и в других местах.

Диорит является прочной кристаллической породой, состоящей из плагноклаза (до 75 %) и роговой обманки. В небольших количествах в составе диоритов могут быть авгит, слюда и др. Кварц в диоритах обычно отсутствует.

Диориты имеют серую или зеленоватую окраску, обусловленную их минеральным составом. Так же как и граниты, диориты могут быть мелко-, средне- и крупнозернистыми. Физико-механические свойства диоритов следующие: плотность сухой породы 2,8—3,0 т/м³; пористость 0,25—1,25 %; водопоглощение 0,10—0,50 %; предел прочности при сжатии 150—275 МПа (чаще 200—250).

Мелко- и среднезернистые разновидности диоритов обладают большой морозостойкостью, в связи с чем являются ценными материалами для изготовления штучного камня и щебня. Отдельные месторождения диоритов имеются на Урале, в Крыму, на Кавказе и в других местах.

Габбро состоит из двух главных породообразующих минералов — основного плагноклаза (около 50 %) и авгита, реже роговой обманки — и характеризуется ясно выраженной кристаллической структурой. Кроме того, в породе могут присутствовать биотит и оливин, а также магнетит и др. Плагноклаз, входящий в состав габбро, а также большинство других его минералов имеют темный цвет, поэтому габбро имеет почти черную или темно-зеленую окраску.

По своим физико-механическим свойствам габбро мало отличается от диорита. В дорожном строительстве применяется для изготовления штучных камней и щебня. Месторождения габбро известны на Урале, в Карелии, на Украине, в Прибайкалье и других местах.

Излившиеся горные породы. В зависимости от состава и условий остывания магмы эти породы характеризуются кристаллической (диабаз), порфировой, а также скрытокристаллической или стекловатой структурой. Текстура излившихся горных пород также разнообразна: однородная, неоднородная, плотная, пористая.

Окраска излившихся пород в общем более темная, чем пород глубинных. Однако и среди них встречаются породы светлой окраски, например трахит. Из пород этой подгруппы наиболее распространены диабазы, базальты, порфиры, порфириты и трахиты.

Диабаз представляет собой мелкокристаллическую породу, состоящую главным образом из плагноклаза и авгита. Иногда в нем могут содержаться оливин, роговая обманка и другие минералы.

Диабазы обладают характерной диабазовой структурой, отличающейся наличием продолговатых кристаллов плагноклаза, между которыми располагаются неправильные зерна авгита. Цвет породы темно-серый, иногда с зеленоватым оттенком. Физико-механические свойства диабазов следующие: плотность сухой породы 2,85—3,05 т/м³; пористость 0,5—0,8 %; водопоглощение 0,1—0,4 %; предел прочности при сжатии 200—300 МПа (иногда до 400).

По своим свойствам — большой морозостойкости, способности хорошо колотиться и обрабатываться — диабазы являются хорошим строительным материалом, получившим широкое применение при строительстве автомобильных дорог. Месторождения диабазов известны в Карелии, на Урале, в Восточной Сибири, на Кавказе и в других местах.

Базальты представляют собой плотную, а иногда пористую скрыто- или мелкокристаллическую горную породу, состоящую из плагиоклаза и авгита, иногда — оливина. Цвет базальтов обычно темно-серый до черного, иногда с зеленоватым оттенком. По физико-механическим свойствам плотные базальты близки к диабазам. Пористые разновидности их, образующиеся в верхней части лавового потока, обладают плотностью и прочностью. Базальты, если в их составе мало вулканического стекла, являются морозостойкой породой.

Для базальтов характерны столбчатая, шарообразная, многогранная и другие отдельности, что во многом определяет применение их для изготовления той или иной каменной продукции. Базальты со столбчатой отдельностью используются главным образом для изготовления мелкого штучного камня (брусчатки, шашки для мозаики), базальты с шарообразной отдельностью — только для щебня.

В СССР базальты имеют сравнительно небольшое распространение; они встречаются в Восточной Сибири по рекам Вилюю, Каменной Тунгуске, Ангаре и др. Отдельные покровы или потоки их встречаются в Забайкалье, на Дальнем Востоке, на Камчатке и в отрогах Карпат.

Порфиры, порфириты и трахиты являются излившимися аналогами гранитов, диоритов и сиенитов. Кварцевые порфиры имеют тот же состав, что и граниты; порфириты близки по составу к диоритам; бескварцевые порфириты и трахиты по составу приближаются к сиенитам.

Отличительной особенностью этих пород является их порфировая структура, характеризующаяся тем, что на плотном или весьма мелкозернистом фоне основной массы выделяются крупные кристаллы одного минерала — кварца, полевого шпата, авгита, роговой обманки или слюды.

Кварцевые порфиры по цвету и физико-механическим свойствам приближаются к гранитам. Следует отметить, что разновидности кварцевых порфиров со стекловатой основной массой обладают большой хрупкостью и могут разрушаться от действия мороза. Месторождения кварцевых порфиров известны на Урале, Камчатке, в Крыму, на Кавказе и в других местах.

Порфириты имеют темно-серый или серо-зеленоватый цвет, массивное или пористое сложение; иногда в их массе содержится примесь вулканического стекла. Массивные, не содержащие стекла разновидности этой породы обладают высокой прочностью и морозостойкостью, в связи с чем применяются для дорожного и мостового строительства.

Бескварцевым порфирам и трахитам обычно присуща светлая окраска — серая, желтая, красноватая. Сложение этих пород пористое, поэтому они имеют сравнительно небольшие пределы прочности при сжатии (60—70 МПа) и плотность (2,2—2,5 т/м³). Характеризуются меньшей морозостойкостью по сравнению с массивными или плотными излившимися породами. Особенно низкую морозостойкость имеют разновидности, содержащие примесь вулканического стекла.

Порфириты встречаются на Урале, Алтае, Дальнем Востоке; бескварцевые порфиры — на Урале, в Восточной Сибири, на Кавказе и в Крыму; трахиты — на Кавказе, вблизи Пятигорска и по рекам Куре и Араксу.

§ 3. Осадочные горные породы

Изверженные горные породы подвергаются медленному выветриванию, в результате которого видоизменяются и разрушаются. Интенсивность процессов видоизменения и разрушения пород связана, с одной стороны, с их составом и свойствами, а с другой — с характером воздействия таких природных агентов, как вода, воздух, колебания температуры.

Продукты разрушения изверженных горных пород, представляющие собой обломки различных размеров, тонкие минеральные частицы и растворенные в воде химические вещества, остаются на месте своего образования или перемещаются с помощью воды, ветра, ледников или силы тяжести.

В результате накопления минеральных масс на дне водных бассейнов или на суше образуются осадки, которые после их преобразования создают горные породы, получившие название осадочных.

Осадочные породы слагают самую верхнюю часть земной коры и занимают значительную площадь. Они образуются в результате трех процессов: 1) накопления или осаждения обломочного материала, получившегося при разрушении ранее сформировавшихся горных пород (изверженных, осадочных и метаморфических); 2) химического осаждения растворенных веществ; 3) жизнедеятельности организмов.

Важным признаком многих осадочных пород является их слоистость, т. е. расположение пород в толще земной коры параллельными слоями или пластами. Отдельные слои отличаются друг от друга окраской, составом и свойствами. Для многих осадочных пород характерна также большая пористость, наличие окаменелых остатков ранее живших организмов (раковин, костей, игл и т. д.) или их отпечатков.

В образовании осадочных пород, кроме минералов первичного происхождения (кварц, слюда, ортоклаз и др.), принимают участие минералы вторичные — кальцит, гипс, ангидрит, каолинит, монтмориллонит и др. Во многих случаях вторичные минералы преобладают в породе (глинистые породы).

Осадочные горные породы, учитывая их происхождение, разделяют на четыре группы, представленные в табл. 2. При этом, учитывая наличие или отсутствие цементизации, производят более дробное их деление.

Таблица 2

Классификация осадочных пород

Группа пород	Породы (по виду связи)		
	рыхлые	связные	сцементированные
Крупнообломочные и песчаные	Окатанные: валуны, галька, гравий	—	Конгломераты
	Неокатанные: камни, щебень, дресва	—	Брекчии
	Пески	—	Песчаники
Глинистые	—	Супеси, суглики, глины	Сланцеватые глины (аргиллиты), алевролиты
Химические	—	—	Галоиды (каменная соль и др.), сульфаты (гипс, ангидрит) и др.
Органические (органогенные)	—	—	Карбонатные (известняки и доломиты), кремнистые (трепел, опока), углеродистые (каменный и бурый угли)

Свойства рыхлых пород и их пригодность для использования в дорожном строительстве сильно зависят от преобладания в составе породы обломков тех или иных размеров; классификация пород по этому признаку представлена в табл. 3.

Таблица 3

Классификация крупных обломков, принятая в дорожном строительстве

Диаметр обломков и частиц, мм	Наименование обломков и частиц	
	окатанных	неокатанных
> 200 200—100 100—70 70—2,0	Валуны Булыжник Галька Гравий	Крупные камни Камни Щебень крупный Щебень, дресва

В случае значительного преобладания обломков или частиц того или иного размера, горная порода именуется по их размеру.

Валуны и булыжник представляют собой крупные, в различной степени окатанные обломки изверженных, осадочных и метаморфических горных пород — гранитов, известняков, песчаников и др.

Наибольшее количество крупнообломочного материала накапливается у подножия гор. Здесь мощность таких отложений может достигать 10 м и более.

Образование валунов связано с геологической деятельностью ледников. Они повсеместно встречаются в Карелии, Прибалтике, Ленинградской области и в других районах северо-западной части СССР, куда занесены ледниками, надвигавшимися с севера. Валунуны и булыжник применяют для изготовления щебня, мощения дорог и кладки фундаментов. Среди валунов и булыжников могут встречаться разности, сложенные сильно разрушенными породами, поэтому их необходимо подвергать тщательному осмотру и сортировке.

Галька и гравий представляют собой окатанные обломки горных пород средней крупности. В природе они часто встречаются в смеси с песчаными, пылеватыми и глинистыми частицами, а иногда с валунами.

По преобладанию тех или иных пород или минералов различают гравий кремнистый, кварцевый, гранитный, известняковый, опоквый и т. д.

Галька и гравий образовались в результате геологической деятельности ледников, морей, рек и временных водных потоков.

Ледниковый гравий и гравий временных водных потоков характеризуются слабой окатанностью и повышенным содержанием пылеватых и глинистых частиц. Гравий морской и речной, наоборот, отличаются большой окатанностью, особенно морской, и весьма малым содержанием пылеватых и глинистых частиц.

На территории СССР галька и гравий распространены по берегам рек и морей, по всей средней и северной частям страны, когда-то занятым ледником, а также в предгорных и горных районах.

Гальку и гравий широко применяют в дорожном строительстве для устройства гравийных покрытий или оснований под усовершенствованные покрытия.

Песок является рыхлой, несвязной породой и представляет собой скопление мелких обломков различных минералов, преимущественно кварца, полевых шпатов, слюды и пр. Среди песчаных частиц могут содержаться в том или ином количестве более крупные гравийные зерна и более мелкие пылевато-глинистые частицы.

По минеральному составу различают пески кварцевые, когда почти все песчаные частицы состоят из кварца, слюдяные, когда кроме кварца содержится заметное количество слюды, полевошпатовые, когда зерна песка состоят из кварца и полевых шпатов, и др. Учитывая физические свойства и минеральный состав частиц, песчаными называют частицы размером 2—0,05 мм (см. табл. 3).

По строительным стандартам, учитывая, что отделить от песка гравийные частицы размером более 5 мм значительно легче и с меньшими затратами энергии, чем частицы более 2 мм, песком называют рыхлые породы, содержащие частицы менее 5 мм. При этом учитывают и то, что включение в состав песка мелких гравийных частиц размером 2—5 мм улучшает качество песка как строительного материала, а удаление из массы гравия или щебня частиц размером 2—5 мм улучшает строительные свойства этих материалов.

Характеристика глинистых пород, обладающих характерными в строительном отношении свойствами, дается во втором разделе книги.

Цементированные обломочные горные породы. Рыхлые обломочные горные породы в природных условиях могут подвергаться уплотнению, а затем и цементации каким-либо естественным веществом. Наибольшее значение из них имеют конгломераты, брекчии и песчаники. Естественным цементом могут быть глинистые частицы, углекислая известь, окись кремния, гидроокись железа и т. д. По составу цементирующего вещества эти породы называют глинистыми, известковыми, кремнистыми, железистыми и др. (например, железистый песчаник, известковый конгломерат и т. д.). Изредка встречаются также породы, в которых природным цементом служит битум (вязкое органическое вещество, состоящее из смеси углеводородных соединений); такие породы носят название битуминозных.

Конгломерат представляет собой гравий или гальку, цементированный тем или иным природным цементом. Чаще всего таким цементом служит углекислая известь, но могут также встречаться конгломераты с глинистым, железистым, кремнистым и другими цементами.

Образование конгломератов связано с движением воды, богатой солями, в пустотах обломочной породы и отложением солей на поверхности обломков и между ними. Дальнейшее физико-химическое изменение этих веществ приводит к цементации породы, прочность которой зависит от качества природного цемента, его количества и характера распределения в массе породы. Наибольшую прочность имеют кремнистые конгломераты.

В местах залегания конгломераты обычно весьма неоднородны и часто связаны постепенными переходами с рыхлым гравием или галькой. Встречаются конгломераты сравнительно редко, в виде ясно выраженного слоя или гнездообразных скоплений в гравийных месторождениях. Конгломераты известны в Крыму, Средней Азии, на Урале и в других местах. После дробления породы они используются в дорожном строительстве в качестве щебня.

Когда каким-либо природным веществом цементированы неокатанные обломки (естественный щебень), такую породу называют брекчией. Брекчии встречаются у подножий крутых горных склонов, где накапливаются продукты разрушения горных

пород. Большинство брекчей сцементировано глинистым или известковым веществом.

Песчаники образовались в результате цементации каким-либо природным веществом песков различного минерального состава.

Песчаники разделяются: по крупности песчаных зерен — на крупно-, средне- и мелкозернистые; по характеру природного цемента — на глинистые, известковые, кремнистые, железистые, битуминозные и др.; по минеральному составу — на кварцевые, слюдяные и аркозовые.

Наиболее устойчивым против природного разрушения является кремнеземистый цемент ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), поскольку он придает сцементированной породе и наибольшую механическую прочность. Значительную прочность может придавать породе также известковый цемент (CaCO_3); что касается гидроксидов железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \times n\text{H}_2\text{O}$) и глинистых частиц, то они не придают породе большой прочности, в особенности во влажном состоянии.

По физико-механическим свойствам песчаники весьма неоднородны и характеризуются следующими величинами: плотность сухой породы 1,80—2,50 т/м³; пористость 2—30%; водопоглощение 0,8—12,0%; предел прочности при сжатии 5—200 МПа (чаще 50—80).

Кремнистые песчаники, сцементированные кремнеземом, в которых зерна кварца нельзя отличить от цемента даже при рассмотрении в лупу, называют кварцитами. Они характеризуются пределом прочности при сжатии 100 МПа и выше и отличаются большой морозостойкостью. Их широко применяют для изготовления штучных камней (брусчатки, шашки для мощения, бордюрных и облицовочных камней), реже — для щебня.

Известковые песчаники могут иметь различную прочность и морозостойкость, что связано с количеством цемента, характером распределения его в массе породы и пористостью породы. Некоторые из них отличаются высокой прочностью и значительной морозостойкостью, другие же, наоборот, имеют небольшую прочность (20—40 МПа) и часто неморозостойки.

Глинистые и железистые песчаники чаще бывают малопрочными и неморозостойкими. Только в некоторых случаях прочность их достигает 40—50 МПа. Лучшие разновидности этих песчаников могут быть использованы лишь для изготовления бутового камня для кладки фундаментов и нижних слоев дорожных покрытий.

На территории СССР песчаники имеют большое распространение. Разработка их ведется во многих районах страны: на Урале, Кавказе, в УССР, Поволжье, Донбассе, в Казахской ССР и др.

Органогенные породы. К ним относятся породы, в образовании которых приняли участие животные или растительные организмы. Большинство населяющих моря и океаны организмов как крупных, так и микроскопических, имеют скелет. Материалом для него служат растворенные в морской воде углекислый кальций и окись кремния. После отмирания организмов скелетные образования

падают на морское дно, где образуют осадки. Известковая и кремнеземистая масса претерпевают там сложные изменения (перекристаллизацию, уплотнение, химическое взаимодействие и т. п.), постепенно превращаясь в сцементированную горную породу.

В процессе образования органогенных горных пород можно выделить ряд этапов. Уже при накоплении осадков имеет место частичное уплотнение их, а в нижней части осадочной толщи — даже некоторая цементация. Примером этого вида образования могут служить скопления ракушки или малопрочного известняка-ракушечника, встречающиеся слоем мощностью до 5 м и более вдоль берегов Азовского, Черного и Каспийского морей.

На последующих стадиях формирования породы происходят сложные изменения в накопившемся материале: содержащийся в раковинах углекислый кальций частично кристаллизуется в форме минерала кальцита, связывая при этом отдельные элементы породы. Наряду с этим происходит разложение остатков органического вещества, заполнение одних пустот и образование других.

В дальнейшем органогенная порода претерпевает изменения, связанные с внутренним взаимодействием составных частей породы и перекристаллизацией всей массы. В результате этого порода становится более прочной. Перечисленные процессы протекают весьма медленно и часто исчисляются десятками и сотнями миллионов лет.

Из органогенных пород наибольшее значение как каменные дорожно-строительные материалы получили известняки и доломиты.

Известняки представляют собой горную породу, главной составной частью которой является углекислый кальций. Последний может находиться в кристаллическом состоянии (кальцит) или в форме массы, внешне лишенной кристаллического строения и остатков скелетных частей организмов.

Кроме CaCO_3 в известняках могут содержаться примеси глины, песка, окиси кремния, MgCO_3 и органических веществ. По содержанию в породе различного рода примесей различают следующие виды известняка:

Известняк	Примесь, %
Глинистый	Глины 5—25
Песчаный	Песка 5—25
Кремнистый	$\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ 5—25
Доломитовый	MgCO_3 5—25
Битуминозный	Природного битума 2—5

Различные примеси оказывают существенное влияние на свойства известняков: прочность, водопоглощение, морозостойкость и др.

Чистые разновидности известняков (более 95% CaCO_3) обычно имеют белый цвет; примеси глины и окислов железа делают их серыми, желтыми, розовыми и даже красными. Темно-серый или черный цвет свидетельствует о присутствии углистых или битуминозных веществ. Примесь глины повышает водопоглощение и снижает морозостойкость известняков. Примеси углекислого магния

и окиси кремния часто весьма благоприятно влияют на строительные свойства породы, так как при этом возрастают ее прочность и устойчивость против атмосферных воздействий. В особенности это относится к кремнистым известнякам.

Чистые известняки и песчанистые известняки в куске вскипают от действия 10%-ной соляной кислоты при комнатной температуре. Глинистые известняки вскипают слабо, а кремнистые и доломитовые — лишь в порошке при нагревании.

Известняки могут иметь самое разнообразное строение и сложение. По этим признакам их делят на следующие разновидности.

Кристаллические, или **мраморовидные**, в которых простым глазом можно различить кристаллы известкового шпата (кальцита). **Плотные**, в которых составляющие породу зерна совершенно не различимы невооруженным глазом. **Пористые**, содержащие большое число видимых пустот. Различают мелкопористые и крупнопористые (дырчатые) известняки, когда в породе имеются отдельные весьма крупные пустоты. **Землистые**, или **меловидные**, обычно мягкие, легко истирающиеся; к ним относится также мел. **Раковистые**, содержащие некоторое количество хорошо сцементированных раковин. Если же порода состоит из слабо сцементированных раковин или из их обломков, то такой известняк называют **ракушечником**.

Большое разнообразие известняков по их составу и сложению обуславливает значительные колебания их основных физико-механических свойств в следующих пределах: плотность сухой породы 1,50—2,68 т/м³ (чаще 2,4—2,5); пористость 2—40% (чаще 7—12); предел прочности при сжатии 5—225 МПа (чаще 40—80); морозостойкость весьма различная.

Наибольшей прочностью и морозостойкостью обладают плотные кремнистые, доломитовые и чистые разновидности известняков. Мраморовидные известняки того же химического состава обладают большой прочностью, однако они могут быть пронизаны скрытыми трещинами, что приводит к их разрушению под действием мороза за сравнительно короткий промежуток времени. Наименьшей прочностью и морозостойкостью отличаются глинистые и меловидные известняки, а также известняки-ракушечники.

Необходимо отметить относительно небольшую твердость известняков, определяющую большое истирание их в дорожных покрытиях, а также способность к прочному сцеплению с битумами и другими органическими вяжущими материалами. Последнее является важным положительным свойством известняков.

Из всех каменных горных пород на территории СССР известняки наиболее распространены и поэтому получили весьма широкое применение в строительстве дорог, мостов и зданий.

Доломиты. Доломиты представляют собой плотные, иногда кристаллические горные породы, состоящие в основном из минерала доломита ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). По внешнему виду и физико-механическим свойствам доломиты близки к доломитовым известнякам, с которыми они связаны постепенными переходами.

При действии соляной кислоты доломиты вскипают только при нагревании в виде порошка. Твердость доломитов несколько выше, чем известняков — 3,5—4,0. Все сказанное о свойствах и применении в строительстве прочных известняков относится и к доломитам. Кроме того, они используются в цементной промышленности для изготовления магнезиальных цементов.

Мергели — это породы, состоящие из смеси углекислого кальция (кальцита) и глины. Содержание CaCO_3 в мергеле в среднем составляет 50—60%. При содержании CaCO_3 в количестве 25—50% породу называют глинистым мергелем.

Мергели образуются в морских бассейнах, лагунах и пресноводных озерах, т. е. в местах одновременного отложения карбонатного и глинистого материала. По физико-механическим свойствам мергели близки к глинистым известнякам. Применяются в качестве сырья для изготовления цемента в цементной промышленности.

Опоками называют сцементированные горные породы, состоящие в основном из аморфного кремнезема ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Подобно известнякам они образуются на дне морей из кремниевых панцирей диатомовых водорослей. Опоки характеризуются очень малой плотностью (1,1—1,8 т/м³) и большим объемом тончайших пор (20—45%), размер которых настолько мал, что они не видны невооруженным глазом. При погружении куска опоки в воду выделяется большое количество пузырьков воздуха; иногда при этом порода растрескивается и распадается на обломки.

Опоки обычно имеют желтую окраску с серым или зеленым оттенком. Прочность их при сжатии колеблется в пределах 3—25 МПа. Все виды опок неморозостойки.

Опоки характеризуются хрупкостью, раковистым изломом, а также своей химической активностью, которая выражается в том, что они могут вступать в химическое взаимодействие с гашеной известью.

По химическому составу и происхождению к опокам близка порода, называемая трепелом. Он имеет такую же, как и опоки, окраску, но отличается от них рыхлым землистым сложением. Трепел, как и опоки, широко применяется в цементной, лакокрасочной, нефтяной, пиротехнической и других видах промышленности.

Опоки и трепел в СССР весьма распространены. Широкий полосой залегают они вдоль всего восточного склона Уральского хребта. Месторождения этих пород известны также в Поволжье, в районе г. Брянска и в других местах.

Химические породы. Породы этой группы (см. табл. 2) образовались в результате выпадения осадков из солевых растворов при повышении их концентрации или химического взаимодействия между различными солями. К этим породам относятся гипс, известковый туф, оолитовый известняк и др.

Гипс представляет собой горную породу, состоящую из мелкокристаллического или волокнистого минерала того же наименования ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Цвет гипса — белый, желтый, серый, розовый.

Гипс характеризуется незначительными твердостью (1,5—2,0) и прочностью.

Безводный природный гипс называется ангидритом; он отличается от гипса несколько большей твердостью (3,0—3,5). Гипс и ангидрит служат сырьем для изготовления вяжущих материалов (алебаstra, гипсо-ангидритового цемента и др.), а также применяются в химической промышленности.

Известковый туф — крупнопористая горная порода, состоящая почти целиком из углекислой извести, образовался путем выделения углекислой извести из горячих источников при выходе их на поверхность и охлаждении.

Оолитовый известняк представляет собой породу, состоящую из мелких округленных зернышек кальцита, сцементированных естественным кальцитовым цементом. Строительные качества оолитовых известняков невысокие. Они неморозостойки и характеризуются прочностью при сжатии порядка 15—20 МПа.

§ 4. Метаморфические горные породы

Под метаморфизмом горных пород принято понимать совокупность процессов в недрах Земли, приводящих к коренным изменениям горных пород, к превращению их в новые породы в результате длительного воздействия большого давления, высокой температуры, горячих газов и паров.

Метаморфизму (изменению) при указанных выше условиях подвергаются все горные породы — осадочные, изверженные (магматические) и ранее образовавшиеся метаморфические.

Под влиянием больших давлений на глубине происходит образование новых минералов, а также изменяется сложение горных пород. В некоторых случаях породы приобретают так называемое сланцеватое сложение, характеризуемое тем, что зерна минералов принимают вытянутую или сплюснутую форму в виде тонких лент (полос).

Наряду с большим давлением по мере увеличения глубины повышается и температура. В соответствии со средним значением геотермической ступени на глубине 3—4 км температура равна примерно 100 °С, а на глубине 50 км — 1000 °С.

В зависимости от преобладания той или иной обстановки, обуславливающей коренные изменения в горных породах, различают следующие типы метаморфизма: 1) контактовый, 2) дислокационный, 3) региональный.

Контактовый метаморфизм непосредственно связан с внедрением магмы в земную кору. При этом вследствие высокой температуры магматического расплава идут процессы перекристаллизации минералов, входящих в состав горных пород. Горные породы испытывают также сильное воздействие газов и паров воды, что усиливает коренное изменение химического состава соприкасающихся пород.

Контактовый метаморфизм обычно приурочен к относительно узкой зоне непосредственного соприкосновения магмы с вмещающими породами. Так, например, в результате контактового метаморфизма осадочные карбонатные породы превращаются в породы переменного состава, состоящие в основном из известково-железистых силикатов (так называемые скарны).

Изменение горных пород происходит также при воздействии растворов, имеющих высокую температуру и образующихся путем конденсации водяных паров магмы, содержащих различные вещества. Такой процесс изменения горных пород называют гидротермальным метаморфизмом. С гидротермальными растворами связано образование различных жил в трещинах горных пород, содержащих ценнейшие полезные ископаемые.

Дислокационный метаморфизм (динамометаморфизм) связан с тектоническими движениями земной коры, вызывающими образование складок и изменение горных пород под влиянием сильного одностороннего давления.

В результате этого порода приобретает сланцеватость и способность раскалываться на тонкие плитки, часто с ориентировкой минеральных зерен. Кристаллизационная сланцеватость свидетельствует о сильном проявлении динамометаморфизма и характерна, например, для гранито-гнейсов.

Региональный метаморфизм в отличие от контактового и дислокационного, носящих местный характер, проявляется в глубоких слоях на огромных площадях и захватывает самые разнообразные горные породы.

Примером регионального метаморфизма являются породы Украинского кристаллического массива и Балтийского щита. Этот тип метаморфизма связан с подвижными зонами земной коры — геосинклиналями. Мощные толщи осадочных пород в геосинклиналиях при их погружении в течение длительного времени на значительную глубину оказывались в зоне крайне высоких значений давления и температуры. Под влиянием этих мощных факторов породы перекристаллизовывались и превращались в различные кристаллические сланцы, гнейсы и другие породы.

Степень метаморфизма горных пород бывает различной и зависит от глубины, температуры, давления и состава исходных пород.

К наиболее распространенным метаморфическим породам относятся гнейсы, кристаллические сланцы, кварциты и мраморы.

Гнейс представляет собой плотную горную породу, состоящую из кварца, полевого шпата и слюды, т. е. является породой, тождественной по составу граниту. Породы, представляющие собой переходы от гранита к гнейсу, получили название гранито-гнейсов. Характерной особенностью гнейсов является их сланцеватое сложение и полосчатость. Структура гнейсов чаще кристаллическая.

По физико-механическим свойствам большинство гнейсов близки к гранитам, однако для них характерно наличие анизотропности, т. е. различие свойств по двум взаимно перпендикулярным направлениям — параллельно и перпендикулярно направлению сланцеватости. Так, прочность гнейсов всегда несколько больше в перпендикулярном сланцеватости направлении, чем в параллельном.

Анизотропность является причиной сильного природного разрушения гнейсов во многих месторождениях с образованием плитообразных отдельных частей. По этой же причине гнейсы легко колотятся на плиты или плоский щебень.

Свежие, невыветрелые гнейсы обладают большой прочностью и морозостойкостью, что позволяет применять их для изготовления различного рода каменной продукции — тротуарных плит, бутового камня, брусчатки, шашки для мощения и др. Для изготовления дорожного щебня применяются только те виды гнейсов, которые при дроблении не дают большого процента щебня плоской формы. В СССР гнейсы распространены на Урале, Украине, Алтае, Дальнем Востоке и в других районах.

Сланцы — это породы, которые образовались в результате воздействия большого давления и повышенной температуры на различного рода осадочные и изверженные породы. Для них характерно сильно выраженное сланцеватое, часто листоватое сложение, т. е. способность раскалываться на ясно выраженные листочки. Сланцы обычно называют по наименованию преобладающего в них минерала или по какой-либо его особенности; различают сланцы: слюдяные, хлоритовые; тальковые, глинистые и др.

В связи с ясно выраженным сланцеватым сложением и небольшой устойчивостью против природных воздействий сланцы мало пригодны в качестве строительного камня.

Кварциты представляют собой плотную горную породу, образовавшуюся из кварцевых песчаников и состоящую преимущественно из зерен кварца. В качестве второстепенных минералов в них могут быть включены зерна слюды или роговой обманки. Цвет кварцитов белый, серый, розовый; твердость 7. Это морозостойкая горная порода. Предел прочности при сжатии наиболее крепких кварцитов достигает 350 МПа. Применяют кварциты главным образом для изготовления штучных камней (облицовочных, брусчатки, шашки для мощения и др.).

Известны месторождения кварцитов на западном берегу Онежского озера, на Украине, Урале и в других местах.

Мрамор — кристаллическая порода, почти целиком состоящая из кристаллов известкового шпата (кальцита) или доломита. Различают мраморы мелко-, средне- и крупнозернистые и скрытокристаллические. Совершенно чистые мраморы имеют белый цвет; небольшие примеси окрашивают их в серый, желтый, розовый, красный и даже в черный цвет. Мрамор легко определяется по своему кристаллическому строению, небольшой твердости (3,0—3,5) и вскипанию от соляной кислоты.

Прочность мрамора колеблется в зависимости от размеров и характера сцепления зерен; предел прочности при сжатии изменяется от 50 до 120 МПа.

Мрамор хорошо обрабатывается (теска, шлифовка) и после полировки дает красивую поверхность. В строительстве применяется главным образом для изготовления облицовочных плит, предназначенных для архитектурной отделки внутренних и внешних частей зданий. Примером широкого использования мрамора для этих целей может служить московский метрополитен.

Залежи мраморов часто приурочены к контактам известняков с гранитом. В процессе внедрения расплавленной магмы в осадочные породы и отдачи тепла в окружающую среду произошла перекристаллизация известняков, завершившаяся образованием мраморов.

Месторождения мраморов имеются на Урале, в Карелии, в Казахской, Узбекской, Армянской республиках и в ряде других мест.

§ 5. Определение горных пород

Для изучения минерального состава горных пород применяют ряд методов. Наиболее полную и точную характеристику горных пород с точки зрения их структуры, сложения и минерального состава можно получить исследованием их с помощью поляризации микрооскопа. Для микроскопических исследований из породы изготавливают шлиф (пластинку толщиной 0,01—0,03 мм), наклеивают его на предметное стекло и покрывают сверху покровным стеклом. Химический состав горных пород определяют методами обычного качественного и количественного анализов. В полевой обстановке горные породы определяют макроскопическим путем, т. е. по внешним признакам — цвету, структуре, сложению, минеральному составу, твердости и пр.

Для определения горных пород необходимо иметь те же принадлежности, что и для определения пороодообразующих минералов (см. гл. II, § 2).

Порядок макроскопического определения горных пород следующий.

1. Вначале определяют, к какой группе может быть отнесена изучаемая порода (изверженным, осадочным или метаморфическим). Это осуществляется сопоставлением ее внешних признаков и основных характерных признаков пород различных групп.

Большинство изверженных пород отличается своей массивностью и кристаллическим строением. Для них характерно наличие первичных минералов, кварца, полевого шпата, слюды, авгита и др. Цвет пород — преимущественно темно-серый, розовый, зеленоватый, черный.

Осадочные породы обычно характеризуются более светлым тоном окраски, чем изверженные (белым, серым, желтым, розовым и др.). Многие из них состоят из вторичных минералов (кальцита, гипса и пр.) или из видимых остроугольных или окатанных об-

ломков первичных минералов и горных пород. Большинство осадочных пород имеет малую твердость, а некоторые из них вскипают от соляной кислоты. Только в осадочных породах могут содержаться окаменелости и отпечатки организмов.

Большинство метаморфических пород характеризуются сланцеватым (плитчатым) сложением. Только кварциты и мраморы не обладают сланцеватостью, но они отличаются другими признаками, с помощью которых их легко можно определить. Кварцит целиком состоит из зерен кварца, имеет большую твердость (7); мрамор же состоит из кристаллического кальцита, имеет небольшую твердость (3,0—3,5) и вскипает от соляной кислоты.

2. После отнесения породы к определенной группе по происхождению, руководствуясь цветом, структурой, сложением и минеральным составом, определяют подгруппу, а затем и вид породы.

§ 6. Выветривание горных пород

Под влиянием природных факторов — колебания температур, химического действия воды, воздуха, различного рода механических воздействий и т. д. — горные породы и слагающие их минералы могут разрушаться до обломков той или иной крупности.

Разрушение каменных пород или их изменение под влиянием этих природных факторов получило название *выветривания*. Процессы выветривания наиболее сильно проявляются на поверхности земной коры, постепенно затухая с глубиной. Слой земной коры, в котором протекают и протекали в предыдущие геологические эпохи процессы выветривания, называется *корой выветривания*. Мощность коры выветривания в разных районах земного шара различна.

Различают три главных типа выветривания: физическое, химическое и биологическое. Все они тесно связаны между собой и чаще всего проявляются совместно. Изучение коры выветривания и процессов, протекающих в ней, имеет большое теоретическое и практическое значение.

Физическое (механическое) *выветривание* выражается в раздроблении горной породы на обломки различных размеров без изменения их минерального и химического состава. Наиболее важными природными агентами, вызывающими раздробление породы, являются: колебание температуры; замерзание воды в порах и трещинах породы; механическое действие воды, ледников и воздушных течений.

При нагревании породы солнечными лучами наружная ее часть имеет более высокую температуру, вследствие чего она расширяется. Внутренняя же часть, куда тепло еще не проникло, сохраняет первоначальный объем. В результате этого при многократном нагревании солнечными лучами верхний, расширившийся слой породы отслаивается от массива. При охлаждении породы наружные слои охлаждаются быстрее внутренних и при сжатии разрываются трещинами. Особенно сильно эти воздействия сказываются в тех

районах, где наблюдаются большие суточные колебания температур, достигающие до 50 °С и более, например в пустынях, где температура днем достигает 70 °С, а ночью снижается до 5 °С.

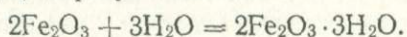
Сильное воздействие на горные породы оказывают колебания температур в полярных областях, где раздробление пород может также происходить при замерзании воды в их порах и трещинах. При переходе воды из жидкого состояния в твердое объем ее увеличивается на 9,1%. Если поры или трещины породы полностью заполнены водой и она замерзает, то образующийся в породе лед расклинивает породу с силой, достигающей примерно 240 МПа. По этой причине повторные замораживания и оттаивания породы вызывают образование в ней трещин, отслаивание, выкрашивание отдельных зерен и т. п.

В результате длительных совместных воздействий физических факторов даже самые плотные и крепкие горные породы постепенно превращаются в рухляк, щебень и дресву.

Большую работу по разрушению горных пород чисто механическим путем производят также движущиеся массы воды, воздуха и льда.

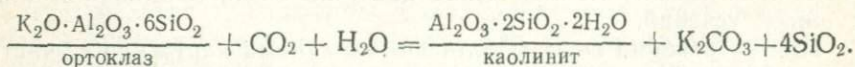
Химическое выветривание. Минералы горных пород способны вступать во взаимодействие с водой, содержащей различные соединения с воздухом, газами, а также парами воды. В результате породы претерпевают химические изменения, вызывающие образование новых минералов. Такие процессы разрушения горных пород называют химическим выветриванием. Существует несколько основных процессов химического выветривания.

Гидратация — химический процесс присоединения минералом молекул воды, в результате которого образуются водные минералы. Так, например, ангидрит CaSO_4 , присоединяя к себе две молекулы воды, образует гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Минерал гематит, присоединяя три молекулы воды, образует лимонит



Окисление минералов происходит в результате воздействия кислорода. Например, пирит FeS_2 при доступе кислорода воздуха образует вначале FeSO_4 и H_2SO_4 , а затем $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Серная кислота в свою очередь растворяет другие минералы, переводя их в сернокислые соли.

Примером карбонатизации и каолинизации может служить разложение ортоклаза при действии на него H_2O и CO_2



Из реакции видно, что в результате образовались нерастворимый кремнезем (кварц) и каолинит, являющийся основным глинистым минералом многих глин. Описанный процесс химического выветривания называют каолинизацией.

Исключительная заслуга в объяснении процессов химического выветривания минералов сложного химического состава (полевых

шпатов, слюд, роговой обманки и пр.) принадлежит академику В. И. Вернадскому.

Различные минералы в той или иной степени растворяются в воде. Содержащиеся в воде в растворенном состоянии газы, особенно CO_2 , повышают растворимость многих минералов. Она увеличивается при повышении температуры воды.

Из породообразующих минералов наибольшей растворимостью обладают галит, сильвин, гипс и кальцит. Необходимо отметить, что если в воде содержится достаточное количество углекислого газа, то растворимость кальцита значительно увеличивается. Это связано с тем, что CaCO_3 при действии на него CO_2 и H_2O переходит в относительно более растворимый двууглекислый кальций $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Растворимость его в зависимости от температуры и давления колеблется в пределах от 0,1904 до 0,3850 г на один литр раствора. Наиболее стойким породообразующим минералом является кварц.

Чем больше раздроблены и измельчены породы в результате физического выветривания, тем активнее развиваются в породе химические процессы. Химическое выветривание наиболее интенсивно протекает в условиях теплого и влажного климата и менее интенсивно в сухом и холодном климате.

Рыхлые продукты выветривания горных пород, остающиеся на месте образования, называют элювием. Его мощность обычно зависит от минерального состава горных пород, рельефа местности и других факторов. При залегании пород в пониженных элементах рельефа химическое выветривание распространяется далеко вглубь.

Биологическое выветривание — это разрушение и разложение горных пород при участии растительных и животных организмов. Особенно значительную роль при этом играют различные растения и бактерии.

Биологическое выветривание совершается химическим и механическим путем. Известно, что растения вырабатывают различные кислоты, способные разлагать даже такие труднорастворимые минералы, как силикаты и алюмосиликаты. Кроме того, древесные и кустарниковые растения, поселяясь на каменных горных породах, размещают корневую систему и в трещинах. По мере роста корневая система расклинивает трещины, увеличивая их число и размеры.

Биологическое выветривание служит началом почвообразовательного процесса, характеристика которого дана в главе XIII.

Все виды выветривания горных пород протекают, как правило, одновременно. В результате их совместного действия горные породы разрушаются и превращаются в обломки различных размеров или в рыхлые земляные массы.

По внешним признакам выветрелости горные породы разделяют на несколько разновидностей: 1) слабовыветрелые (потускнение блеска и побурение минералов); 2) средневыветрелые (наличие мельчайших трещин, более значительное побурение минералов, появление вторичных минералов, например каолинита в граните); 3) сильновыветрелые (порода содержит много трещин, при ударе

издает глухой звук и крошится на мелкую щебенку или дресву; много побуревших минералов или минералов, превратившихся в каолинит, хлорит и др.).

Степень выветрелости горных пород определяет изменение их физико-механических свойств.

В связи с большой пористостью и трещиноватостью осадочные горные породы легче подвергаются физическому и химическому выветриванию, чем изверженные и метаморфические. По этой причине среди известняков, мергелей, песчаников и опок часто встречаются разновидности, легко разрушающиеся в природной обстановке и в сооружениях. Разрушение известняков, доломитов и мергелей происходит обычно в результате растворения некоторой части углекислого кальция, выноса его и образования сильно пористых пород.

Вновь образовавшиеся обломочные породы, опускаясь в более глубокие части земной коры и подвергаясь большому давлению при высокой температуре, превращаются в метаморфические породы, по качеству резко отличающиеся от исходных. Процесс разрушения одних горных пород и создание других происходит в природе беспрерывно.

Глава IV

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВНУТРЕННИХ (ЭНДОГЕННЫХ) СИЛ ЗЕМЛИ

Земная кора подвержена постоянным воздействиям внутренних (эндогенных) и внешних (экзогенных) сил, изменяющих ее состав, строение и форму поверхности.

Внутренние силы Земли, обусловленные главным образом колоссальным давлением и высокой температурой глубоких толщ земной коры, вызывают нарушения первоначального залегания пластов литосферы, в связи с чем образуются складки, трещины, сбросы, сдвиги и пр. С деятельностью внутренних сил связаны землетрясения и вулканические извержения.

Результатом этой деятельности является образование на земной поверхности гор и глубоких впадин. Они же вызывают вековые колебания — медленные поднятия и опускания отдельных частей земной коры, охватывающие обычно обширные области. Море при этом надвигается на сушу (трансгрессия) или отступает (регрессия).

Изменения соотношения моря и суши, имевшие место на протяжении всей истории Земли, происходят и сейчас. Установлено, например, медленное опускание южного побережья Северного моря и медленное поднятие северной части Скандинавского и Кольского полуостровов. В некоторых местах наблюдается поднятие гор (Крымские и Кавказские горы, Карпаты и др.).

Кроме медленных вертикальных движений происходят также и горизонтальные смещения земной коры.

Раздел геологии, занимающийся изучением движений земной коры, изменяющих ее строение и формы залегания горных пород (складки, сбросы и пр.), получил название **тектоники**.

§ 1. Тектонические явления и горообразование

Горами принято называть возвышенности, имеющие высоту более 200 м над уровнем окружающей местности и характеризующиеся расчлененным рельефом. Если же огромная площадь на земной поверхности сильно возвышается над окружающей местностью и расчленена геологическими процессами на ряд гор и межгорных понижений (теснина, седловина, долина, перевал и пр.), то ее называют горной областью или нагорьем. Возвышенности, имеющие более или менее вытянутую форму, получили название хребтов, а при значительной длине — горных цепей.

Большинство возвышенностей созданы движениями, нарушившими строение земной коры и вызвавшими дислокацию первоначального залегания слоев осадочных и других пород. Эти нарушения принято называть тектоническими движениями.

Чаще всего горы образуются в результате вертикальных и боковых давлений, возникающих в земной коре вследствие происходящих в ней движений. Под действием этих давлений происходит дислокация, т. е. нарушение первоначального залегания пластов горных пород, с образованием складок, сбросов, сдвигов и других тектонических форм. Возникшие таким образом горы получили название тектонических.

Большинство тектонических горных цепей представляют собой складчатые горы, образовавшиеся под влиянием бокового давления внутренних сил. К ним относятся Уральские и Кавказские горы, Алтай, горы Восточной Сибири и др.

В некоторых случаях тектонические горы образовались в результате поднятия одних участков земной коры относительно других или же в результате опускания прилегающих частей материка. При этом перемещение пластов земной коры происходит по вертикальным или наклонным трещинам. Такие горы получили название массивных, или глыбовых.

Обычно в горных областях можно наблюдать сочетание различных типов гор, характер поверхности которых весьма усложнен процессами выветривания и размывания.

Иногда горы образуются за счет размывания осадочных горных пород, когда вода разрезает местность глубокими речными долинами и оврагами. Равнинная местность с течением времени может превратиться в холмистую, а затем — в гористую. Такие горы получили название эрозионных (эрозия — размывание и разрушение земной поверхности текучими водами и льдом).

Нормальное залегание горных пород. Осадочные горные породы обычно залегают в виде пластов (слоев), расположенных горизонтально или со слабым наклоном. Такое залегание принято называть нормальным (рис. 3).

Слоем, или пластом, называют более или менее однородное образование, ограниченное двумя параллельными плоскостями. Каждый слой ограничивается сверху кровлей (которая при наклонном положении слоя называется висячим боком), а снизу — подошвой (называемой при наклонном залегании лежачим боком).

Несколько пластов, близких по составу или геологическому возрасту и обычно различной мощности, составляют свиту пластов (см. рис. 3, пласты 1, 2, 3). Параллельное залегание нескольких пластов или свит называют согласным залеганием. Свиты или пласты, залегающие по отношению друг к другу под некоторым углом, образуют несогласное залегание.

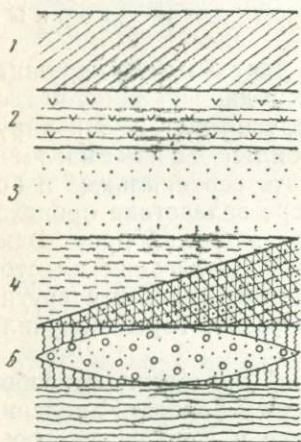


Рис. 3. Нормальное залегание пластов

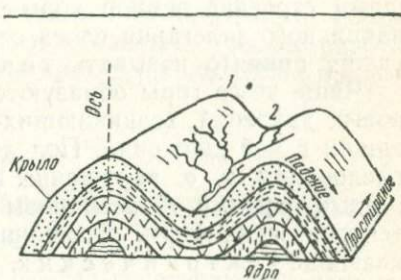


Рис. 4. Элементы складки

Если кровля и подошва пласта не параллельны, его называют выклинивающимся пластом (см. рис. 3, пласт 4). Пласт, выклинивающийся на небольшом расстоянии с двух сторон, называют линзой (см. рис. 3, пласт 5). Сравнительно тонкие пласты среди пластов большой мощности называют пропластками.

Нарушенное залегание горных пород. Тектонические процессы нарушают нормальное залегание горных пород, вследствие чего образуются различного рода складки, сбросы и другие формы нарушенного залегания пластов.

Складки. Складкой называют изогнутую свиту пластов, в один полный перегиб слоев с обратным падением. На рис. 4 показаны различные складки: одни из них обращены вершиной кверху (антиклинальные складки, 1), а другие — вершиной книзу (синклинальная складка, 2). В каждой такой складке различают ось, ядро и крылья.

В зависимости от положения оси различают складки: прямые, когда ось составляет прямой угол с горизонтальной линией (рис. 5, а, б, в); косые, когда ось составляет с горизонтом острый или тупой угол, а крылья складки падают в противоположных направлениях (см. рис. 5, г), опрокинутые и лежащие, когда ось складки

близка к горизонтальной линии (см. рис. 5, *д*, *е*), крылья обычно также близки к горизонтальному положению, но одно из них перевернуто.

Складки являются весьма распространенной формой нарушенного залегания горных пород. Их можно наблюдать в естественных обнажениях или в искусственных дорожных выемках, в предгорных и горных районах. При постройке горных дорог постоянно приходится встречаться с самыми разнообразными складками. При заложении выемок, разработке карьеров и в особенности при про-

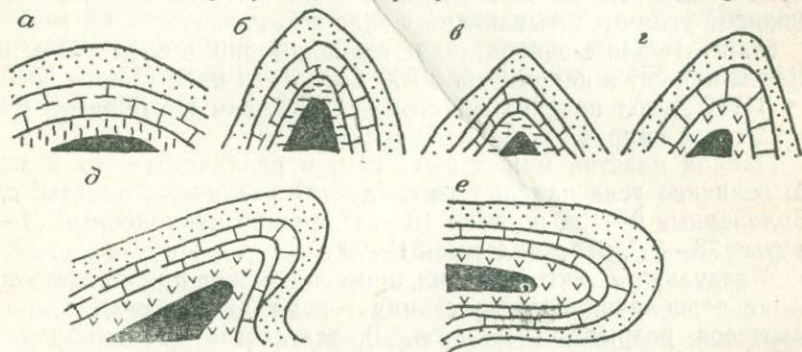


Рис. 5. Типы складок:

а — плоская; *б* — крутая; *в* — с переломом в седле; *г* — косяя; *д* — опрокинутая; *е* — лежащая

ходке тоннелей характер складок, их положение по отношению к сторонам света и угол наклона пластов к горизонту оказывают большое влияние на способы производства работ и на устойчивость выработок.

В связи с этим обычно определяют простирание складки или пласта, падение и угол падения пластов. Простиранием называют направление по отношению к странам света, в котором вытянута складка или пласт. Линия простирания определяется при пересечении пласта горизонтальной плоскостью (см. рис. 4), Падение — это направление, перпендикулярное к простиранию, Направление падения соответствует наибольшему уклону поверхности пласта. Углом падения называют угол, который пласт образует с горизонтом, т. е. угол наклона линии падения к горизонту. Все эти показатели определяют при помощи горного компаса.

В отличие от обычного горный компас посажен на прямоугольную подставку. Длинная сторона пластинки совпадает с направлением компаса с севера на юг. Лимб компаса разделен на 360° , но не по часовой стрелке, как у обычного компаса, а против нее. В горном компасе перемещены восток и запад: вместо востока указан запад и вместо запада указан восток. Эти перемещения необходимы для того, чтобы можно было без каких-либо вычислений прямо делать отсчеты азимута по лимбу компаса. Особенностью горного компаса является также наличие у него отвеса и

шкалы (угломера), с помощью которых можно определять угол падения пластов в градусах (от 0 до 90°).

Как уже отмечалось, направление падения всегда перпендикулярно к направлению простирания. По этой причине с помощью горного компаса достаточно определить одно из этих направлений, второе — вычисляют.

Для определения угла падения стрелку компаса закрепляют с помощью рычага и прикладывают компас длинным ребром по наклону пласта; при этом отвес компаса изменит свое положение. Искомый угол отсчитывают по шкале угломера.

Окончательные записи делаются, примерно, в следующем виде: пласты падают в направлении ЮЗ 200°, имея простирание ЮВ 110° и СЗ 290°; угол падения пластов — 35°. Таким же образом можно определять направление жил и трещин.

Наклон пластов может быть самым различным — от 0 до 90°. По величине угла падения (в градусах) различают пласты: слабо наклоненные 0—16°, пологие 16—31°, сильно наклоненные 31—76°, крутые 76—81°, вертикальные 81—90°.

В результате тектонических процессов может происходить нарушение первоначального залегания толщ горных пород, сопровождающееся разрывами пластов. В результате этого образуются сбросы, взбросы и т. д.

Сбросы — это дислокации, при которых произошел разрыв сплошности пластов вследствие вертикальных или наклонных давлений. Они представляют собой смещения пластов горных пород по вертикальной или наклонной трещине. Таких трещин и дислокаций может оказаться сразу несколько. В этом случае их называют сложными сбросами. Возвышенный участок земной коры, ограниченный сбросами с двух и более сторон опустившимися

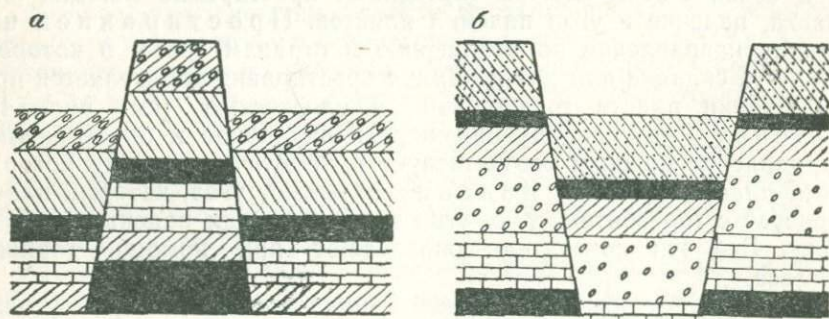


Рис. 6. Сбросы:
а — горст; б — грабен

участками, называют горстом (рис. 6, а). Опустившийся участок земной коры, заключенный между двумя или несколькими сбросами, отделяющими его от сохранивших свое положение соседних участков земной коры, называют грабеном (см. рис. 6, б). Примером крупного грабена может служить о. Байкал, Телецкое

озеро и др. Байкальский грабен имеет длину до 750 км, ширину 85 км и глубину до 1700 м.

При строительстве необходимо учитывать наличие сбросов, поскольку они являются наиболее неблагоприятным случаем нарушения залегания пластов. Обычно наличие сбросов свидетельствует о том, что смещение пород может повториться. Кроме того, сбросовая трещина может служить местом усиленной циркуляции подземных вод. При заложении опор больших мостов или фундаментов зданий в местах сбросов отдельные их части могут быть расположены на разных горных породах, что может повлечь различную осадку сооружений. В связи с этим участки сбросов являются наиболее нежелательными для заложения тоннелей, больших мостов и зданий.

§ 2. Вулканизм

Вулканы в большинстве случаев имеют форму отдельной конусообразной горы, сложенной застывшей лавой и рыхлыми продуктами извержения, обломками камней и вулканическим пеплом. В центральной части возвышенности имеется овальное или круглое углубление, называемое **кратером** (рис. 7).

Кратер связан каналом с глубинами Земли, откуда периодически поднимается огненно-жидкая магма, находящаяся в недрах планеты в расплавленном состоянии. Верхняя часть канала обычно закрыта застывшей лавой и пеплом, и перед излиянием магмы на поверхность чаще всего происходит сильный взрыв. В описанной общей схеме строения вулкана и порядка извержения в действительности может наблюдаться значительное разнообразие.

Процесс излияния магмы на дневную поверхность и сопутствующие ему явления получили название **извержения**. Оно представляет собой одно из самых грозных и величественных явлений природы. Перед извержением обычно наблюдаются подземные толчки, завершающиеся взрывом. При взрыве может взлететь на воздух часть возвышенности, вылетают куски породы, пепел, газы и пары, и только после этого из кратера или трещин начинает подниматься жидкая масса — лава, которая течет, заливая пониженные части рельефа. Температура лавы в большинстве случаев выше 1000 °С.

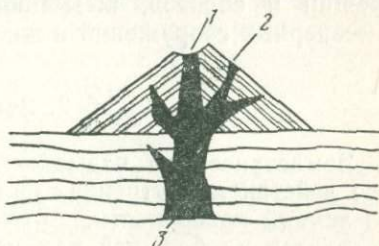


Рис. 7. Схема строения вулкана.
1 — кратер; 2 — побочный кратер; 3 — жерло (канал)

Различают вулканы действующие, уснувшие и потухшие. На земном шаре насчитывается около 500 действующих вулканов, а число потухших во много раз больше. Такое деление крайне условно; в истории имеется немало случаев, когда потухшие вулканы

возобновляли свою деятельность, а ранее действовавшие, наоборот, в течение нескольких сотен лет себя не проявляли.

Вулканы распределяются преимущественно в двух географических областях — Средиземноморской, распространяющейся вплоть до Каспийского моря, и Тихоокеанской.

В СССР имеется много вулканов, но подавляющее большинство их — потухшие. Только на полуострове Камчатка насчитывается 129 вулканов, из которых 20 действующих, а 109 относятся к числу потухших. Наиболее крупными действующими вулканами в СССР являются Ключевская и Авачинская сопки на Камчатке. На Курильских островах имеется 60 потухших и около 38 действующих вулканов. Из крупных потухших вулканов необходимо указать Эльбрус и Казбек на Кавказе.

Продукты и последствия извержений. В результате извержения вулканов на земную поверхность выбрасывается огромное количество обломков горных пород и вулканического пепла, а также изливается раскаленная лава. Пепел выделяется в таком большом количестве, что иногда под его покровом оказывались погребенными целые города (например, город Помпея в Италии при извержении вулкана Везувия). При уплотнении и химическом взаимодействии с водой и солевыми растворами из пепла образуется пористая каменная горная порода, получившая название вулканического туфа (например, арктический туф в Армении), являющаяся весьма хорошим материалом для облицовки стен. При остывании потоков лавы образуются огромные массы прочных излившихся пород (базальтов, диабазов, порфиоров, трахитов и др.).

Огненно-жидкая магма не всегда достигает дневной поверхности. Иногда, поднимаясь кверху, магма внедряется в толщу осадочных пород, поднимает и раздвигает их. В тех случаях, когда магма медленно остывает и затвердевает на относительно большой глубине, образуются гранит, диорит и другие прочные кристаллические глубинные породы.

При извержениях вулканов часто наблюдается образование трещин и сбросов, вызывающих разрушение или повреждение инженерных сооружений и жилых зданий.

§ 3. Землетрясения

Землетрясением называют сотрясение земной коры, вызываемое действием внутренних сил Земли. Землетрясение проявляется на земной поверхности, но очаг, т. е. область, где оно возникает, находится на большей или меньшей глубине. Сотрясения земной коры происходят почти непрерывно. Однако большинство их незаметны для человека и ощущаются только точными приборами.

Большая часть землетрясений наблюдается в Средиземноморской и Тихоокеанской областях и в горных цепях Азии, соединяющих эти две области, т. е. на той же территории, где наиболее интенсивно проявляются горизонтальные и вертикальные перемещения земной коры.

Различают следующие виды землетрясений: а) происходящие от обвалов, б) вулканические, в) тектонические. Наиболее частые и сильные землетрясения относятся к тектоническим.

Возникновение тектонических землетрясений объясняется геологическими изменениями, происходящими в толще земной коры при горообразовательных процессах. Поднятия и опускания отдельных участков земной коры и образование складок вызывают постепенное увеличение упругих напряжений (сил) в толще пород. Когда напряжения возрастут настолько, что превысят предел прочности горных пород, происходят разрывы пород и внезапное перемещение отдельных участков земной коры вдоль этих разрывов. Быстрое перемещение огромных масс сопровождается сотрясением прилегающих частей земной коры.

То место в глубине земной коры, откуда исходит землетрясение, получило название его очага, или гипоцентра. Очаги землетрясения располагаются на глубине от 50 до 700 км, а чаще на глубине 20—40 м.

От гипоцентра во все стороны распространяются упругие колебательные движения частиц, или упругие волны. Движение твердых частиц в этих волнах прямолинейно и происходит в продольном и поперечном направлениях.

Возникшие в гипоцентре продольные и поперечные упругие волны по мере движения через толщу горных пород постепенно затухают. Если очаг находится весьма глубоко, а сила землетрясения незначительна, то такие волны могут не дойти даже до ближайшей точки земной поверхности. При сильном землетрясении упругие волны весьма быстро (скорость распространения волны в зависимости от породы 3,5—14 км/с) доходят до земной поверхности, вызывая колебания почвы и сооружений. В первую очередь и с наибольшей силой они достигают земной поверхности в том месте, которое ближе всего расположено к гипоцентру. Этот участок носит название эпицентра землетрясения.

Для регистрации упругих волн пользуются приборами — сейсмографами (рис. 8). Простейший сейсмограф представляет собой большой маятник, колебания которого передаются на барабан, вращающийся с помощью часового механизма, и записываются в виде колебательной кривой, называемой сейсмограммой. При сильном землетрясении сейсмограмма будет иметь вид кривой с большим размахом колебаний. Современные сейсмографы позволяют регистрировать силу, время и место даже самых незначительных землетрясений, происходящих на земном шаре.

Для изучения такого грозного явления природы, каким являются землетрясения, учета всех проявлений и возможного пред-

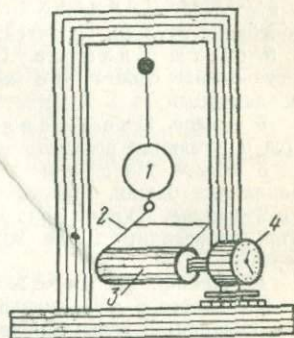


Рис. 8. Сейсмограф с вертикальным маятником.

1 — маятник; 2 — пишущий рычаг; 3 — барабан с бумагой для записи; 4 — часы

сказания (прогноза) в СССР организована сеть сейсмических станций (Пулково, Москва, Тбилиси, Иркутск, Свердловск, Ташкент и др.).

Для определения силы землетрясения в СССР используется следующая 12-балльная шкала:

1 балл. Незаметное. Ощущается только точными приборами.

2, 3, 4 балла. Очень слабое, слабое и умеренное. Ощущается не всеми.

5 баллов. Довольно сильное. Ощущается всеми. Дребезжат стекла. Колебание стульев, кроватей.

6 баллов. Сильное. Ощущается всеми. Наблюдается колебание и самопроизвольное сдвигание с места мебели, бьется посуда, отваливается штукатурка зданий.

7 баллов. Очень сильное. Стены зданий дают трещины. опрокидываются и ломаются предметы домашней обстановки.

8 баллов. Разрушительное. Разрушается часть каменных домов, обваливаются башни, заводские и дымовые трубы. Трещины на крутых склонах.

9 баллов. Опустошительное. Разрушаются здания (многие становятся непригодными для жилья), появляются трещины в земле. Человеческие жертвы.

10 баллов. Уничтожающее. Большинство каменных построек разрушается вместе с фундаментом. Мостовые растрескиваются и дают волнообразные складки. Вдоль склонов появляются широкие трещины, оползни, обвалы и т. д.

11 баллов. Катастрофа. От каменных построек почти ничего не остается. Разрушаются мосты, плотины, насыпи. Рельсы и мостовые фермы искривляются.

12 баллов. Сильная катастрофа. Ни одно сооружение не остается целым. Образуются значительные сбросовые трещины, горизонтальные сдвиги и разрывы.

Землетрясения наносят огромный ущерб человечеству. Они разрушают населенные пункты, железные и автомобильные дороги, при этом гибнут люди, скот и т. д. Районы, где наблюдались землетрясения силой 5 и более баллов, называют сейсмическими.

В СССР наиболее подвержены землетрясениям районы Закавказья, среднеазиатских республик, Забайкалья и Камчатки; менее подвержены — Крым, Северный Кавказ, Дальневосточный край.

При проектировании и строительстве автомобильных дорог в сейсмических районах особое внимание уделяется учету инженерно-геологических особенностей местности.

Опытом установлено, что участки дорог в широких открытых долинах с мощными толщами рыхлых отложений или на скалистых массивах меньше всего страдают от землетрясений, чем участки в холмистой местности на склонах разной крутизны. При возведении земляного полотна необходимо избегать устройства глубоких выемок и высоких насыпей и обходить крутые неустойчивые склоны или участки, где проявляются сдвиги, сбросы, обвалы или оползни.

При строительстве зданий, мостов и других сооружений предпочтительно применение железобетона с повышенным расходом арматуры. Фундаменты заглубляются на глубину, большую, чем в обычных районах, не подверженных землетрясениям.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВНЕШНИХ (ЭКЗОГЕННЫХ)
СИЛ ЗЕМЛИ

Наша планета непрерывно изменяется под действием внутренних и внешних сил или процессов; изменяются ее состав, физическое состояние, внешний вид и другие особенности.

Мощный поток солнечной энергии порождает на поверхности Земли разнообразные процессы ее внешней динамики. Эти изменения состоят в непрерывных перемещениях водных и воздушных масс, в химических и физических превращениях веществ под воздействием выветривания, в разрушении, переносе и вторичном отложении горных пород, в жизнедеятельности организмов и т. п. Все эти изменения принято называть экзогенными процессами.

В тесной взаимосвязи с экзогенными процессами проявляются и силы тяжести, которые обуславливают направление движения воды, ледников и продуктов разрушения горных пород по земной поверхности.

Они вызывают целый ряд геологических процессов, изменяющих состав и строение верхней части земной коры. К ним относятся: а) выветривание горных пород (см. гл. III); б) денудация, заключающаяся в сносе и переносе водой, ветром и ледниками продуктов выветривания с повышенных точек рельефа в пониженные и в обнажении внутренних частей земной коры в местах, откуда удалены продукты выветривания; в) отложение и уплотнение осадков.

Ниже рассмотрены геологические процессы, вызываемые деятельностью текущих вод, ледников и ветра.

§ 1. Деятельность текущих вод

Разрушение горных пород водой заключается: в смывании минеральных частиц с поверхности склонов; размывании склонов, растворении и выносе солей, образовавшихся при выветривании, размягчении горных пород, вследствие чего уменьшается их прочность и устойчивость. Разрушению пород водой всегда сопутствует созидательная работа, которая заключается в переносе, сортировке и отложении минеральных обломков с образованием целого ряда новых горных пород.

При движении воды по наклонной плоскости, которую образует поверхность земли или русла рек, потенциальная энергия воды переходит в кинетическую, в связи с чем вода производит работу. Чем круче склон, тем быстрее стекает по нему вода, тем значительней ее живая сила и работа по размыванию склонов, которую она может произвести на своем пути. Особенно сильно увеличивается размывание поверхности, когда вода собирается в ручейки, а те в свою очередь в речные потоки.

Процесс размывания склонов складывается из: а) отрыва и уноса частиц породы; б) подмывания и обрушения берегов; в) растворения и выноса солей.

Оторванные и смытые частицы породы вода переносит во взвешенном состоянии или перекачивает по дну.

Размывание земной поверхности водой дождевых струй, ручьев, потоков и рек получило название эрозии, а наиболее низкая точка, куда стекает рассматриваемый поток и вверх от которой идет размыв, называется базисом эрозии. Постепенно вода все больше и больше углубляется в толщу пород, образуя промоины различных размеров и форм: овраги, балки, ущелья, речные русла и др.

Овраги. Оврагами называют большие промоины с крутыми, а иногда и отвесными склонами. Различают растущие и остановившиеся овраги. Растущие овраги характеризуются ежегодным ростом в длину, ширину и глубину и наличием более или менее крутых стенок. Чаще всего глубина оврагов бывает 10—20 м, но в отдельных случаях может достигать 60—80 м. Остановившиеся овраги обычно не растут и имеют пологие склоны, покрытые растительностью. Такого рода овраги называют балками.

Рост оврагов зависит от разности высотных отметок размываемой местности и речных долин; площади, с которой собирается вода в овраг (водосборный бассейн); характера и мощности слоя размываемых пород; климатических условий местности (ливневой характер осадков, бурное снеготаяние).

Различные горные породы по-разному противостоят размыву водой. Особенно сильно подвержены размыву лёссы и лёссовидные суглинки.

Овраги приносят огромный ущерб хозяйственной деятельности человека. Они превращают ценные плодородные пашни в неудобные земли, в процессе своего роста могут разрушать автомобильные и железные дороги и т. д. Причинами, способствующими появлению оврагов, могут быть устройство канав на склонах, уничтожение растительности и др.

Чтобы не допустить появления или развития оврагов, необходимо производить посадку леса и задернение склонов. Травянистая, кустарниковая и особенно древесная растительность скрепляет своей корневой системой малосвязные горные породы (например, лёссовые), делая их более стойкими по отношению к размывающей деятельности воды.

Делювиальные отложения. Дождевые и талые воды, стекающие по склонам, обычно распределяются по поверхности более или менее равномерно в форме тонких, густо переплетающихся струек. Живая сила воды таких струек невелика, и поэтому с поверхности смываются и уносятся вниз по склону лишь мелкие частицы продуктов выветривания.

Вследствие уменьшения уклона поверхности в нижней части склона и в связи с этим уменьшения скорости течения в струях воды эти частицы оседают. Таким образом, на склонах постепенно

накапливается мощный покров преимущественно тонкозернистых (суглинистых) осадков.

Указанный процесс плоскостного смыва, совершаемого дождевыми и талыми водами, получил название делювиального, а формирующиеся при этом осадки — делювия. При строительстве дорог на горных склонах часто приходится встречаться с делювиальными отложениями, которые покрывают коренные породы.

Глинистые разности делювия при большом увлажнении поверхностными или грунтовыми водами часто сползают вниз, угрожая разрушением автомобильным дорогам и другим сооружениям.

При выходе постоянного или временного потока из ущелья или оврага на равнину его живая сила уменьшается, в связи с чем выносимый им материал откладывается в виде веерообразного плоского конуса выноса. Обычно конусы выносы в верхней части состоят из крупнообломочного материала, а в нижней — из относительно разнородного мелкообломочного материала.

Сели. В горных районах кратковременные грязекаменные потоки исключительно большой силы получили название селей или селевых (силевых) потоков. После стока воды на месте остаются массы ила, песка, валунов и огромных глыб различных пород, которые называют селевыми выносами. Эти выносы часто похожи на моренные отложения и имеют неправильные холмистые очертания. Образование их связано с одновременным выпадением в горах большого количества атмосферных осадков или с быстрым таянием снега.

В этих случаях вода, устремляющаяся по крутым, лишенным растительности склонам в овраги или ущелья, собирается в бурные грязекаменные потоки, обладающие огромной силой. Такой поток смывает на своем пути массу разнообразного материала — от тонких глинисто-пылеватых частиц до крупных обломков скал диаметром до 3 м. Весь этот материал поток выносит в предгорные районы, где вследствие уменьшения уклона местности откладывает на равнине. Образуются так называемые пролювиальные отложения, состоящие из весьма разнородного материала, в котором часто преобладают щебень и крупные обломки местных горных пород. Такие отложения имеют форму больших конусов выноса. В СССР селевые потоки возникают на Кавказе, в Таджикистане, в горных районах Узбекистана, Туркмении и Казахстана, в Восточной Сибири и других местах.

При изысканиях под строительство автомобильных дорог в горных или предгорных районах надо учитывать возможность образования селевых потоков. Поэтому необходимо обходить такие опасные места или предусматривать специальные сооружения, которые смогли бы обеспечить пропуск селевого потока.

Селевые потоки могут вызывать разрушение и снос дорожных одежд и земляного полотна автомобильных дорог, завалы земляного полотна и дорожных одежд грязекаменным материалом, а также занос отверстий искусственных сооружений селевыми потоками. Борьба с селями представляет большие трудности. В целях

предотвращения ущерба от них необходимо всемерно защищать водосбор путем не только сохранения лесного и травяного покрова, но и облесения горных склонов. Для уменьшения живой силы и задержки селевых потоков часто прибегают к устройству невысоких каменных запруд на их пути.

Образующиеся в местах выхода селевых потоков пролювиальные отложения часто представляют большой интерес с точки зрения использования их материала при постройке дорог и мостов, так как основная масса их обычно состоит из щебня и более крупных обломков горных пород.

Работа рек. Реки обычно представляют собой постоянные потоки, текущие в разработанном русле. Характер каждой реки определяется количеством протекающей воды, ее уровнем и скоростью течения. Эти показатели измеряются как по сезонам года, так и в многолетнем цикле; совокупность их измерений обуславливает режим реки.

Реки являются главными путями стока воды с континентов в океаны, моря или озера. В главную реку обычно впадает несколько притоков, которые в свою очередь принимают ряд малых рек и ручьев; последние питаются потоком и дождевыми струями. Площадь земной поверхности, с которой вода стекает в данную реку через притоки, ручьи, потоки и дождевые струи, носит название водосборного бассейна реки.

Различают реки: а) горные, в которых преобладает ледниковое питание, характеризующиеся значительным уклоном дна, большой скоростью воды и узкой глубокой долиной; б) равнинные, в которых преобладает снеговое или дождевое питание, отличающиеся широкой, чаще неглубокой, долиной и меньшей, чем у горных рек, скоростью воды, что связано с небольшим уклоном дна реки.

В зависимости от характера и интенсивности питания изменяются режим рек и уровень воды в течение года. В соответствии с изменениями уровня воды в реках наблюдаются уровни: высокий (соответствующий во многих реках Советского Союза весеннему половодью) и межениый (наиболее низкий уровень воды в конце лета — межень).

Реки производят большую работу по размыванию земной поверхности переносу и отложению осадков, образуя различные по ширине и глубине речные долины.

В речной долине выделяют следующие элементы (рис. 9): дно или ложе (1) — самую низкую часть долины, называемую также тальвегом; русло (2) — часть долины, занятую водой реки; пойму (3) — часть долины, заливаемую водой в период половодья; склоны долины (4) — повышенные участки суши, ограничивающие с двух сторон ложе долины.

На склонах долин многих рек можно наблюдать один или несколько уступов, получивших название террас (5). Различают нижнюю (пойменную) и верхние (надпойменные) террасы, кото-

рых может быть несколько. Так как надпойменные террасы тянутся вдоль реки на более или менее значительном расстоянии, то их часто используют для проложения автомобильных дорог.

Размывающая деятельность рек, так же как и потоков, связана с количеством движущейся в них воды, уклоном их дна, базисом эрозии и со свойствами горной породы, по которой течет вода.

По характеру производимой водой работы продольный профиль русла реки можно разделить на три части: а) верховье, в котором преобладает размыв и вынос материала; б) среднюю часть, характеризующуюся тем, что перенос материала преобладает над размывом, выносом и отложением; в) низовье, где преобладает отложение, но вместе с тем наблюдается также и перемещение тончайших частиц, уносимых в моря и океаны. Сочетание этих частей реки и характеризующие их особенности могут быть неодинаковы в различных реках.

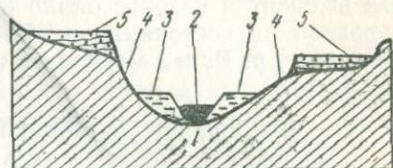


Рис. 9. Поперечный разрез речной долины

В связи с большой скоростью течения в верховьях реки наблюдается преимущественно глубинная эрозия, т. е. размывание русла реки вглубь. В средней, и особенно в нижней части реки, где скорость движения воды становится меньшей, наблюдается боковая эрозия, связанная с размывом берегов и расширением русла, и аккумуляция.

Боковая эрозия происходит вследствие того, что движение воды в реках совершается не прямолинейно, а с отклонениями в ту или другую сторону. Это связано с наличием неровностей дна первоначального потока, различной сопротивляемостью пород размыву, действием господствующих ветров, влиянием отложений при впадении притоков, действием кориолисовой силы и т. д.

Полученные отклонения от прямолинейного движения увеличиваются в силу стремления реки сохранить прежнее направление, и в связи с этим происходит последовательное подмывание то одного, то другого берега.

Узкая долина реки постепенно превращается в широкую пойменную. Русло реки в этом случае протекает в пределах поймы по собственному аллювию; при этом образуются разнообразные по форме и размерам излучины — м е а н д р ы (рис. 10).

Из изложенного видно, что размеры и характер речных долин зависят от многих взаимосвязанных причин.

В одних случаях эрозионная долина имеет ширину в несколько километров и ограничена с двух сторон пологими склонами или с одной стороны пологим, а с другой — крутым склоном, в других случаях река имеет узкую долину, ограниченную с двух сторон

отвесными склонами. Такого рода долины называют ущельями, или каньонами.

Отложения рек. Наряду с огромной разрушительной работой по размыву земной поверхности, реки осуществляют перемещение и отложение материала. На величину разрушающей и транспортирующей работы рек указывает объем сноса горных пород с поверхности материков всеми реками земного шара, составляющей около 16 млрд. м³ ежегодно. Так, например, р. Амударья каждый год выносит в низовье около 570 млн. т веществ, находящихся во взвешенном состоянии, р. Янцзы — 2532 млн. т, р. Дунай — 82 млн. т, р. Волга — 19 млн. т.

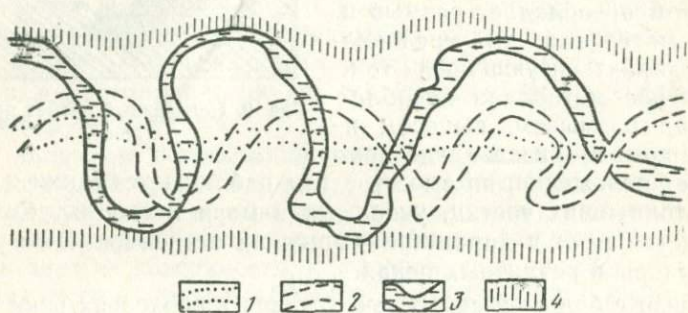


Рис. 10. Схема поперечного размыва речной долины:

1 — первоначальная долина реки; 2 и 3 — последующие стадии развития меандра и расширения долины; 4 — склоны долины реки

Продукты выветривания горных пород перемещаются водой в растворенном состоянии (соли), в виде взвесей (глинистые, пылеватые и песчаные частицы) или путем перекачивания более крупных обломков (гальки, гравия) по речному дну. Для переноса минеральных частиц водой нужна определенная скорость течения: частицы диаметром менее 2 мм могут перемещаться при слабом течении (менее 0,6 м/с), для частиц размером от 2 до 40 мм требуется среднее течение (0,6—1,5 м/с). При быстром течении (1,5—3,0 м/с) вода может перекачивать обломки от 40 до 200 мм в диаметре. В горных реках, особенно в половодье, вода способна перемещать даже крупные камни объемом до 1 м³ и более. Скорость течения реки в различных местах ее поперечного сечения неодинакова: у берегов, в связи с малой глубиной и трением, она обычно наименьшая, в глубоких местах русла — наибольшая. В связи с этим у берегов происходит отложение более крупных частиц, в то время как в глубоких местах эти частицы продолжают перемещаться.

Изменяется скорость течения реки и в продольном направлении; в верховье реки она наибольшая, а в нижней части, особенно если река впадает в озеро или замкнутое море, — сильно падает.

В результате этого происходит сортировка обломочного материала с разделением его по крупности на зерна или частицы, близкие по размерам друг к другу.

Так возникают гравийно-галечные, песчано-гравийные, песчаные, пылевато-песчаные, пылеватые и глинистые отложения. Такого рода современные или древние отложения в речных долинах получили название аллювия.

Аллювиальные отложения встречаются в долинах древних и современных рек почти повсеместно, за исключением верховьев горных рек. Мощность их может достигать десятков метров в том случае, когда в результате тектонических процессов происходит поднятие базиса эрозии речной долины.

Наибольшее количество аллювия откладывается при впадении рек в моря, когда движение воды почти затухает, и переносимые водой мелкие частицы (мелкопесчаные, пылеватые и частично глинистые) оседают на дно, загружая основное русло реки. При этом река иногда вынуждена прокладывать путь в собственных наносах в виде отдельных рукавов, образуя так называемую дельту (например, дельты рек Лены и Волги). Дельты рек ежегодно увеличиваются, выдвигаясь в сторону моря. Так, дельта р. Терека выдвигается ежегодно вперед более чем на 100 м. Вместе с переносом обломочного материала река производит большую работу по его механическому измельчению. Перекатываясь по дну реки, обломки ударяются один о другой, вследствие чего обламываются их острые выступы и уменьшается объем. Постепенно угловатые обломки принимают округленную форму, характерную для гальки или гравия.

Скорость измельчения обломков зависит от скорости течения реки и прочности пород. Мягкие породы (слабые известняки и песчаники, опоки, глинистые сланцы и др.) легко измельчаются, превращаясь в тонкие пылеватые, глинистые или песчаные частицы; твердые породы (кварциты, кварцевые песчаники, граниты и др.) измельчаются очень медленно. По этой причине гравий и галька аллювиальных отложений состоят преимущественно из прочных горных пород.

Аллювиальные отложения рек — галька, гравий и песок — широко используются в качестве дорожно-строительных материалов при строительстве автомобильных дорог и мостов.

§ 2. Деятельность моря.

Океаны и моря занимают около 70,8 % земной поверхности и в них сосредоточены огромные массы воды, составляющие 1370 млн. км³. Находясь в непрерывном движении, эти огромные массы воды разрушают горные породы окружающих берегов, перемещают и истирают продукты разрушения и откладывают их в виде осадков.

Разрушительная работа моря выражается в разрушении берегов прибойной волной и растворении пород. Удары волн достигают большой силы: например, в порту Туапсе во время шторма волнами была опрокинута бетонная глыба массой 19 т.

Против действия такой огромной, многократно прилагаемой силы не может устоять ни одна горная порода. Разрушительная работа волн усиливается также ударами обломков горных пород, подхваченных прибоем.

Примером разрушения берега морским прибоем может служить восточный берег Черного моря в районе Гагр, где за 7 лет море разрушило и смыло полосу берега шириной около 200 м.

Образующиеся при разрушении берегов обломки камня подвергаются дальнейшему измелчению волнами, которые у береговой линии постоянно перекатывают обломки по морскому дну. Вследствие трения друг о друга обломки приобретают гладкую, окатанную поверхность. Одновременно объем зерен гравия и гальки уменьшается, а образующиеся при этом тонкие пылеватые и глинистые частицы морскими течениями, а также приливами и отливами уносятся далеко в море, где и отлагаются на морском дне.

Созидательная работа моря выражается в накоплении отложений из обломков горных пород, химических и органических осадков, часто преобразующихся в породы с новыми свойствами.

Крупные обломки горных пород откладываются повсюду, где уменьшается движение воды. Почти вдоль каждого морского побережья можно видеть прибрежные отложения, состоящие из хорошо окатанных гальки, гравия или песка.

Из этих пород часто образуются косы, песчаные рифы, пересыпи и т. д. В некоторых случаях в отложениях принимают участие раковины или их обломки. Различают следующие виды морских отложений.

Отложения мелкого моря, или шельфа, образуются в прибрежной полосе моря в среднем шириной 60—80 км и глубиной до 200 м, где сказывается действие морских волнений. Эти отложения характеризуются разнородностью состава и частой слоистостью (разнообразные по составу и крупности пески, ракушка, органические и минеральные илы, суглинки и глины).

Отложения материкового склона образуются на глубине от 200 до 2500 м и занимают около 15 % площади Мирового океана. Они представлены различными минеральными илами, которые после уплотнения образуют толщи глин. В наиболее глубокой части склона накапливаются органические илы.

В ложе Мирового океана на глубинах от 2500 до 6000 м и в глубоких впадинах свыше 6000 м отлагаются глубоководные отложения, представляющие собой скелетные образования микроскопических растений и животных и образующие диатомовый, радиоляриевый, глобогериновый и другие илы. После уплотнения и преобразования они превращаются в толщи известняков, мела, диатомита, трепела, красных глубоководных глин и др.

Вместе с минеральными частицами вода сносит в море в растворенном состоянии также большое количество различных химических веществ. Некоторые из них в результате химического воздействия друг с другом образуют осадки, с образованием новых минералов (известковый шпат, доломит и др.); другие выпадают

в осадок вследствие повышения концентрации раствора при испарении воды (каменная соль, гипс); треть поглощаются живущими в морской воде животными и растениями. Некоторая же часть солей остается в морской воде в растворенном состоянии.

В морской воде в среднем содержится 3,5 % легкорастворимых солей, причем почти треть этого количества составляет хлористый натрий.

Отложение легкорастворимых в воде солей чаще всего происходит в лагунах, т. е. мелководных частях океана (моря), отгороженных от него песчаными косами и соединяющихся с ними узким проливом или проливами. Концентрация солей в воде лагун в результате испарения увеличивается и с течением времени достигает предела растворимости. Часть солей при этом переходит в осадок, образующийся на дне. Во время приливов или волнений на море в лагуну попадают новые порции морской воды, которые снова подвергаются процессу испарения, концентрации и отложения солей. Примером такого процесса может служить залив Кара-Богаз-Гол на Каспийском море.

Содержание солей в воде залива в несколько раз выше, чем в морской воде. По берегам и на дне залива откладываются глауберова (мирабилит) и поваренная соли, гипс, карбонаты кальция и магния.

Мощность морских солевых отложений, образовавшихся в древние геологические периоды, может быть весьма большой. Так, например, около пос. Доссор (Западный Казахстан) бурением установлена толща каменной соли мощностью 220 м, в районе г. Ромны (УССР) 1500 м, в районе г. Артемовска (УССР) 464 м.

Область мелководного моря (шельфа) населена множеством разнообразных животных и растительных организмов. Некоторые из них в связи с частыми волнениями моря прикрепляются к морскому дну, например кораллы, губки, мшанки и др.

Многие морские животные, а также известковые водоросли в процессе жизнедеятельности потребляют из морской воды для построения своих наружных и внутренних скелетов (раковины, скорлупки, кости, зубы, иглы и т. д.) углекальциевую соль. После отмирания организмов твердые известковые остатки накапливаются на морском дне, образуя новые отложения. Примером такого рода образований может служить толща ракушки на берегу Азовского моря.

Уплотнение известковой массы, а в последующем ее кристаллизация и химические изменения приводят к образованию известняков. Такие породы часто отличаются высокой прочностью и широко используются в дорожном строительстве.

§ 3. Деятельность ледников

В полярных странах и на определенной высоте в горах при сочетании среднегодовых температур ниже 0°C с большим количеством выпадающего снега происходит накопление его. Последующее уплотнение снега приводит к образованию ледников.

Ледники при движении производят огромную разрушительную и созидательную работу по перемещению значительного количества обломочного материала и отложению разнообразных осадков — ледниковых отложений. При этом образуется специфически холмистый рельеф, называемый ледниковым. Различают ледники материковые и горные.

Материковые ледники образуются так же, как и горные, с той лишь разницей, что они образуются в полярных странах и занимают там обширные площади (Гренландия, Новая Земля, Антарктида и др.).

Работа ледников. При движении ледник производит огромную разрушительную работу. Он выпихивает рыхлые продукты выветривания горных пород, разрушает скалистые выступы в донной и краевой частях ледникового потока, измельчает обломки трением друг о друга. Образовавшуюся таким путем массу разрушенного материала ледник перемещает впереди себя, в толще льда, по дну и краям.

Наибольшее количество обломочного материала попадает в ледник в процессе его формирования и движения. Скатывающиеся со скал обломки горных пород попадают на поверхность снега или льда. В силу разности плотностей они постепенно опускаются к донной части ледника, где вместе с выпуханным материалом могут составлять до 50 % всей передвигающейся с ледником массы. Обломки пород, переносимые или отлагаемые ледником, называют мореной.

Переместившись ниже снеговой линии, ледник постепенно начинает таять, превращаясь в ручьи и реки. Огромные массы обломков горных пород, принесенных ледником, заполняют долину, образуя моренные отложения. Различают следующие виды морен: а) основную, или донную, отложенную из материала придонной части ледника (гравий, песок, глина с включением валунов); б) конечную, отложенную в виде вала из грубых обломков горных пород у окончания ледника (валуны, галька, гравий с небольшим количеством песчаных и пылевато-глинистых частиц).

Характерной особенностью моренных отложений является то, что они состоят из неотсортированного по размеру частиц материала.

К ледниковым образованиям относят также водно-ледниковые (флювиогляциальные) отложения, представляющие собой отложения потоков, возникающих при таянии ледников. Эти отложения чаще всего представлены песками, реже суглинками, гравием и галькой.

На дне ледниковых озер образовались озерно-ледниковые (лимногляциальные) отложения. Типичным представителем таких отложений являются ленточные глины, характерной особенностью которых является чередование тонких (2—0,5 мм) прослоек (лент) песчаного и пылевато-глинистого материала.

В сравнительно недавнем геологическом прошлом часть территории СССР, Западной Европы и Северной Америки покрывалась материковыми ледниками. В течение четвертичного (антропогенного) периода развития Земли, который начался примерно миллион лет назад и продолжается в настоящее время, имели место три оледенения. В период наиболее крупного оледенения в Европе, получившего название днепровского, ледники спустились далеко на юг по долинам рек Днепра и Дона, образовав днепровский и донской ледниковые языки.

Центром этих древних оледенений были районы Скандинавии, где мощность толщи льда достигала 4000 м. Объемы ледниковых масс в Европе в периоды оледенений достигали 8 млн. км³.

Крупнообломочные ледниковые отложения (валуны, гальки, гравий) и сопутствующие им пески различной крупности широко используются как строительный материал при строительстве автомобильных дорог.

Образование горных ледников. Выпадающий на высоких горах снег под действием солнечных лучей оплавляется и принимает зернистое строение. Нижние слои снега под давлением вышележащей толщи или вследствие пропитывания водой постепенно уплотняются, причем зерна снега сливаются в одну сплошную зернистую массу, называемую фирном. Нижняя наиболее плотная разновидность фирна получила название глетчерного льда.

Таким путем на горных вершинах, расположенных выше снеговой линии, образуются толщи глетчерного льда, достигающие нескольких сотен метров.

Лед, хотя он является твердым телом, способен медленно течь, что объясняется присущей ему пластичностью, возрастающей с увеличением давления. В связи с этим под влиянием давления вышележащей толщи лед движется по склонам гор из области питания (накопления) в область таяния и разгрузки несомого им обломочного материала.

Скорость движения ледников зависит от крутизны склонов, величины давления, температуры воздуха и пр. По данным многочисленных наблюдений, перемещение ледников составляет от 0,2 до 30 м в сутки.

В СССР горные ледники имеются на Кавказе, Памире, Алтае, в других высокогорных районах.

§ 4. Озера, болота и их отложения

Озеро представляет собой массу воды, находящуюся в замкнутой котловине и не имеющую связи с морем. Различают озера: а) тектонические, впадины которых образовались в результате сбросов в земной коре (например, оз. Байкал); б) вулканические, ложа которых являются кратерами потухших вулканов (например, оз. Кроноцкое на Камчатке) или когда лавовый поток образовал плотину (оз. Севан в Армении); в) эрозионные, представляющие собой озера дельт, пойм, долин ледникового выпаживания и др.; г) карстовые, углубления которых об-

разовались в результате растворения водой горных пород (гипса, известняка и др.) или таяния льда (термокарстовые).

По содержанию солей в воде различают озера пресные и соленые. К пресным относят озера, вода которых содержит солей менее 1 г/л. Такие озера обычно имеют сток (например, Ладожское озеро). В соленых озерах содержание солей может быть весьма большим и в некоторых случаях во много раз превышает соленость океанов. Так, в оз. Баскунчак в 1 л воды содержится около 300 г солей, что почти в 9 раз превышает соленость морей и океанов.

Геологическая деятельность больших озер заключается в сортировании и отложении минеральных обломков, которые поступают в них во взвешенном состоянии с водой рек, а также солей и органических остатков.

Свойства осадочных горных пород, образующихся у берегов и на дне озер (глины, суглинки, пески и др.), весьма различны и зависят от характера поступающего материала, величины и глубины озера, климата местности и других причин.

Как правило, у берегов откладывается более грубый озерный и речной аллювий; пылеватые и глинистые разности — на дне в средней части озера. При этом дно озера постепенно выравнивается, а само озеро мелеет. Так, Аральское море только за счет осадков, приносимых реками Амударьей и Сырдарьей, ежегодно мелеет в среднем на 0,5 см. Иногда на дне озер наблюдается образование ленточных глин, представляющих собой чередование тонких слоев песчаных (летнее отложение) и глинистых (зимнее отложение) частиц.

В южных сравнительно небольших соленых озерах вследствие испарения воды летом и охлаждения ее осенью и зимой могут выпадать в осадок различные соли. Таковы самосадочные озера, например, Эльтон (поваренная соль с примесью сульфатов натрия и магния).

Кроме упомянутых осадков в озерах могут образовываться сапропель (гнилостный ил), диатомиты, трепел и другие горные породы. В малых озерах в результате зарастания их болотной растительностью часто образуется торф. Со временем они превращаются в болота.

Болота представляют собой избыточно увлажненные территории, на которых накапливаются неразложившиеся или плохо разложившиеся остатки растений, образующие торфяные массы (торф). Болота являются аккумуляторами больших объемов атмосферных осадков, талых вешних и паводковых вод, а иногда и грунтовых вод, выклинивающихся в основаниях прилегающих склонов.

Болота образуются или путем зарастания водоемов, или вследствие избыточного увлажнения прежде сухих мест. Они могут быть грунтового питания — низинные болота, атмосферного питания — верховые болота и переходного типа.

§ 5. Деятельность ветра

Геологические процессы, обусловленные деятельностью ветра, называются эоловыми. Они проявляются во всех климатических зонах, но особенно интенсивны в пустынях и в полупустынях.

Ветер, так же как и вода, производит большую как разрушительную, так и созидательную работу. Разрушительная работа ветра заключается в выдувании тонких продуктов выветривания горных пород, развеивания их в механическом разрушении. Созидательная работа заключается в отложении рыхлых продуктов и образовании новых отложений, называемых эоловыми (нески, некоторые лёссы). Эоловые пески занимают большие территории в засушливых пустынных областях юго-востока СССР. Многие исследователи считают, что толщи лёссов, широко распространенных на юге европейской части СССР и на территории среднеазиатских республик, также представляют собой эоловые образования.

Геологическая деятельность ветра всецело связана с его скоростью. С увеличением скорости движения воздуха усиливается выдувание, развеивание, транспортировка частиц, обтачивание и другие виды работы ветра. Можно привести следующие данные: при скорости движения воздуха 4,5—5,5 м/с приходят в движение частицы размером до 0,25 мм; при скорости 10—11 м/с перемещаются частицы размером 0,5—1,0 мм; при урагане, когда скорость ветра достигает 30 м/с и более, могут переноситься даже гравийные зерна размером 2—4 мм и более.

Выдувание и механическое разрушение. Образовавшиеся в результате выветривания горных пород тонкие пылеватые или песчаные частицы выдуваются ветром, в связи с чем обнажаются крепкие, неразрушенные слои породы. Если один из пластов, выходящих на дневную поверхность, будет сильно разрушаться выветриванием и выдуванием, а другие, лежащие выше пласты, — слабо, то обычно это заканчивается обвалом вышележащих пластов.

Выдувание неразрывно связано с механическим воздействием на разрушаемые горные породы массы тонких минеральных частиц, поднимаемых в воздух сильным ветром и с силой ударяющихся о горные склоны. Вследствие этого происходит обтачивание обнажений породы.

Выдуваемые минеральные частицы развеиваются ветром. Более крупные частицы откладываются недалеко от места их образования; тонкие частицы (менее 0,05 мм) могут переноситься ветром на значительные расстояния.

В южных районах нашей страны в течение лета много раз возникают так называемые пылевые бури. Особенно сильные пылевые бури наблюдаются в пустынях Средней Азии (Каракум, Муонкум и др.). В воздух поднимаются тучи песка и пыли, которые двигаются с огромной скоростью, могут засыпать встретившиеся на их пути препятствия.

Пылевые (черные) бури и ураганы уносят на сотни и тысячи километров огромные массы тонких минеральных частиц, которые

затем, по мере затухания силы ветра, оседают в сухом состоянии или падают вместе с дождем на земную поверхность. Это часто наблюдается в прилегающих к пустыням степных районах. Так, в Саратовской области в 1910 г. за 12 дней апреля на участке площадью 1 га выпало около 13 кг пыли, принесенной ветром из Средней Азии.

Эти явления дали повод считать, что лёсс образовался из пыли, переносимой ветрами. По этой причине он и является мало-связной, сильно пористой породой. В СССР толщи лёсса достигают нескольких десятков метров. Наряду с ветровой (эоловой) теорией происхождения лёсса существуют и другие.

Подвижные пески. Песчаные частицы как более тяжелые перекатываются под действием ветра по поверхности земли. Встречая на своем пути препятствия (растения, камни, бугры и пр.), песок задерживается и накапливается за преградой в виде бугорка. В дальнейшем этот бугорок сам становится препятствием и местом накопления новых песчаных масс. Таким путем образуются песчаные холмы и гряды, называемые дюнами. Различают дюны береговые и континентальные, или барханы.

Береговыми дюнами называют песчаные холмы высотой до 30 м, образующиеся по берегам морей и крупных рек. Они не имеют строго выраженной формы: их наветренный склон обычно весьма пологий ($5-12^\circ$), а противоположный подветренный крутой ($30-35^\circ$). Песок береговых дюн преимущественно мелкозернистый.

В СССР они распространены главным образом по берегам Северного Ледовитого океана и Балтийского моря, а также в некоторых местах вдоль крупных рек — Днепра, Дона, Волги и др. Многие дюны покрыты древесной и кустарниковой растительностью.

Барханами называют песчаные холмы пустынь, имеющие в плане форму полумесяца с вогнутостью на подветренной стороне. Высота барханов колеблется в очень широких пределах — от 2 до 30 м. Барханные пески обычно мелкие с размерами зерен от 0,05 до 0,25 мм. Скорость перемещения барханов в пустынях может достигать 20 м/сут. Барханы весьма широко распространены в песчаных пустынях Азии.

Закрепление сыпучих песков. Сыпучие пески, переносимые ветром, могут засыпать сельскохозяйственные поля, железные и автомобильные дороги, здания и т. д. В связи с этим возникает необходимость закрепления подвижных песков. Способы закрепления песков могут быть разделены на две группы: а) механические; б) насаждением растительности.

Механические способы заключаются в установке переносных щитов или в разбрасывании на развеваемой площади ветвей деревьев. В последнее время для закрепления песков применяется также обработка их поверхности мазутом или битумными эмульсиями.

Насаждение растительности на сыпучих песках в ряде мест является наиболее эффективным средством борьбы с их подвижностью. В условиях Средней Азии такими растениями яв-

ляются травянистый злак селин, названный пионером заселения сыпучих песков, белый или песчаный саксаул, песчаная акация, джугун и др.

Глава VI. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

§ 1. Образование подземных вод и их классификация

Подземными называются воды, находящиеся в порых и трещинах горных пород ниже поверхности земли. Изучением происхождения подземных вод, процессов их движения, состава и свойств занимается наука гидрогеология.

В хозяйственной деятельности человека подземные воды имеют исключительно большое значение, так как они являются важным источником водоснабжения. При возведении наземных, а особенно подземных сооружений необходимо учитывать возможность встретить подземные воды; с наличием или отсутствием их связаны условия проведения и стоимость строительных работ.

Неглубокое залегание подземных вод, как правило, осложняет строительные работы: при заложении опор мостов и других сооружений возникает необходимость откачки воды из котлованов и принятия специальных мер, повышающих устойчивость водонасыщенных рыхлых горных пород. При возведении земляного полотна дорог приходится устраивать насыпи различной высоты или проводить специальные осушительные работы. Весьма часто подземные воды являются причиной сползания земляных масс на склонах (оползней). С деятельностью подземных вод связано образование больших пустот и провалов в толще земной коры (карста).

Подземные воды образуются преимущественно за счет просачивания в горные породы атмосферных осадков. Наряду с этим, как доказано А. Ф. Лебедевым, в образовании грунтовых вод также участвует и конденсационная вода, т. е. вода, образующаяся путем конденсации водяных паров из воздуха.

На территории СССР атмосферные осадки выпадают крайне неравномерно. Наибольшее их количество выпадает на Черноморском побережье Кавказа (1400—2200 мм/год), наименьшее — в Туранской низменности, особенно в устье р. Амурдарьи (80—200 мм/год). На обширной территории Восточно-Европейской равнины осадков выпадает всего 400—600 мм/год.

Выпадающие на поверхность земли атмосферные осадки распределяются следующим образом: одна часть их испаряется, возвращаясь обратно в атмосферу; другая часть — поверхность — под земный сток — стекает по поверхности в реки и озера; третья часть — подземный сток — просачивается (фильтруется) в толщу горных пород под действием силы тяжести и передвигается в них.

Испарение выпавших осадков в основном зависит от температуры и влажности воздуха над смоченной поверхностью; наличия и характера растительности; плотности горных пород. Чем выше температура воздуха и чем больше сила ветра, тем больше воды будет испаряться с поверхности, тем быстрее будет просыхать эта поверхность.

Сток и просачивание (фильтрация) зависят от условий выпадения атмосферных осадков, рельефа местности, характера горных пород и испарения. Атмосферные осадки могут выпадать в виде ливней или мелких затяжных дождей. В первом случае преобладает сток, а просачивание незначительно; во втором — просачивание чаще будет весьма значительным, а сток очень мал.

При равнинном характере рельефа атмосферная влага просачивается в толщу грунтов или испаряется; при холмистом или гористом рельефе преобладает сток, а испарение и просачивание крайне незначительны.

Весьма важным фактором в распределении атмосферных осадков, выпавших на поверхность Земли, является состав и свойства слагающих ее пород. Многие горные породы состоят из твердых частиц различной крупности, между которыми содержатся пустоты или поры. Общий объем и размеры их в разных породах весьма различны и зависят от размера частиц и степени их уплотнения. Так, например, глины могут содержать пустот до 45—55 %, а песок — 27—40 %. В свою очередь пустоты могут быть крупными и мелкими. Просачивание воды в толщу горных пород происходит главным образом по крупным пустотам.

В мелких пустотах (порах) вода находится под влиянием частиц, составляющих породу. Особенно этим отличаются мельчайшие глинистые частицы (размером менее 0,001 мм), способные прочно удерживать на своей поверхности пленку воды, получившей название связанной воды.

В глинах и суглинках, содержащих много глинистых частиц, значительная часть пустот при увлажнении заполняется физически связанной водой; поэтому, несмотря на большой общий объем пустот, эти породы воду почти не пропускают.

В песках общий объем пустот меньше, но они более крупного размера, вследствие чего вода в них может свободно перемещаться.

Вода в горных породах может передвигаться также по трещинам различных размеров. Способность горных пород пропускать воду называется водопроницаемостью, которая зависит главным образом от характера пустот и трещин. В зависимости от водопроницаемости горные породы делятся на три группы: 1) водопроницаемые — галька, гравий, песок, трещиноватые горные породы; 2) полупроницаемые — лёсс, супеси, легкие суглинки, некоторые сильнопористые песчаники и известняки; 3) водонепроницаемые, или водоупорные — глины, тяжелые суглинки, плотные нетрещиноватые горные породы.

При наличии в данной местности водопроницаемых горных пород атмосферные осадки будут легко просачиваться в их толщу, питая подземные воды. Наоборот, при залегании водонепроницаемых пород вода будет стекать по их поверхности или испаряться. Количество воды, идущей в сток, на испарение и просачивание, всегда значительно колеблется в зависимости от местных условий. Вода, стекающая по поверхности земли в ручьи и реки, снова возвращается в моря и океаны. То же происходит и с подземными водами, которые выходят на дневную поверхность в виде ключей и родников, питая поверхностные воды. Так совершается непрерывный кругооборот воды в природе.

Просочившаяся в толщу горных пород вода под действием силы тяжести опускается по крупным порам или трещинам все глубже, пока не достигнет водонепроницаемых пород. Там она задерживается и заполняет пустоты вышележащей породы, создавая водоносный пласт (горизонт). Свободная поверхность воды этого водоносного пласта получила название ур



Рис. 11. Схема залегания грунтовых и межпластовых вод

вня, или зеркала подземных вод, а та глубина от земной поверхности, на которой залегает зеркало подземных вод, называется глубиной залегания подземных вод. Водонепроницаемые породы, на которых задерживаются подземные воды, образуют водоупорный пласт.

Так образуется верхний водоносный пласт, вмещающий грунтовые воды. Более глубокие водоносные пласты образуются главным образом за счет просачивания поверхностных вод (рис. 11).

Подземные воды делятся: 1) по условиям залегания в земной коре — на грунтовые, межпластовые, трещинные и карстовые; 2) по гидравлическим признакам — на безнапорные и напорные; 3) по температуре — на холодные (с температурой менее 20°C), теплые ($20\text{—}40^{\circ}\text{C}$) и горячие (более 40°C). Они разделяются также по химическому и газовому составу, происхождению и т. д.

Грунтовыми называются воды самого верхнего водоносного пласта, лежащего на первом водоупоре. Они имеют исключительно важное значение для дорожного строительства, так как от глубины их залегания во многом зависит высота поднятия земляного полотна дорог и целый ряд других мероприятий, направленных на придание дорожным сооружениям требуемой устойчивости.

Разновидностью грунтовых вод является верховодка — временное скопление грунтовых вод на небольшой глубине от поверхности. Она образуется в связи с плохой водопроницаемостью пород в периоды переувлажнения, когда просочившаяся вода не успевает спуститься до уровня грунтовых вод.

Собственно подземными, или межпластовыми, называются воды более глубоких водоносных пластов. Межпластовые

воды как более глубокие, а следовательно, и более чистые, чаще всего используются для водоснабжения. Они могут быть безнапорными и напорными.

Безнапорные воды характеризуются наличием свободной поверхности, устанавливаемой под влиянием силы тяжести (например, грунтовые воды); напорные воды имеют повышенное гидростатическое давление и стремятся повысить свой уровень в выработках, что связано с отсутствием свободного выхода воды в условиях изогнутости водоносного пласта и наличия водонепроницаемых кровли и подошвы. К напорным относятся также артезианские воды.

§ 2. Грунтовые воды

Для характеристики грунтовых вод данной местности устанавливают положение их уровня, а также направление и скорость движения воды в породе.

При пересечении уровня грунтовых вод какой-либо выработкой (шурф, котлован, буровая скважина) с ее стен сочится вода, которая с течением времени заполняет часть выработки. Уровень, на котором вода начала сочиться со стен выработки, называется появившимся уровнем, а уровень воды, установившийся в выработке, носит название установившегося. В грунтовых водах эти уровни чаще всего совпадают. При наличии напора, что зачастую бывает в пластовых водах, установившийся уровень выше появившегося.

Так как верхний уровень грунтовых вод имеет большое значение в дорожном строительстве, то в скважинах и шурфах, закладываемых при изысканиях дорог, обычно измеряют глубину залегания этих вод с помощью мерной ленты, рейки и пр.

Уровень грунтовых вод не является постоянным. В зависимости от погодных условий (дождливой погоды, сухого периода года и т. д.) глубина залегания грунтовых вод повышается или понижается. Особенно сильно подвержены колебаниям грунтовые воды, лежащие близко к дневной поверхности.

Линии, соединяющие одинаковые уровни стояния грунтовых вод, получили название гидроизогипс. На специальных гидрогеологических картах они проводятся, как горизонтали на топографических картах, через 1, 2, 3 и 5 м в зависимости от числа наблюдений и требуемой точности.

Вода в горных породах лишь в редких случаях находится в застойном состоянии. Чаще всего она перемещается вследствие разности давлений в двух точках и движется от высокого уровня к низкому.

Движение грунтовых вод также может быть обусловлено наклоном водоупорного пласта. Движущиеся грунтовые воды получили название грунтового потока, а застойные воды называют грунтовым озером.

Во многих случаях возникает необходимость определить направление и скорость грунтового потока, с тем чтобы глубокой

канавой перехватить и отвести воду в сторону от сооружения. Для этого применяются следующие способы: а) красящих веществ; б) по трем точкам; в) гидроизогипс.

Способ красящих веществ. На изучаемой местности закладывают пять шурфов или скважин конвертом на расстоянии 50—100 м друг от друга. В среднюю из них вводят растворяющееся в воде красящее вещество (флюоресцин, метиленовая синь и др.) в количестве 2—20 г на каждые 100 м расстояния между скважинами. В остальных скважинах наблюдают за появлением окраски. Скважина, в которой раньше появится окрашенная вода, расположена ближе к направлению движения грунтовых вод.

Так как красящее вещество появляется в наблюдательных скважинах весьма ослабленным, что не дает возможности точно установить время его появления, то часто взамен его в центральную скважину вводят концентрированный раствор хлористого натрия или другой соли. Появление ее в других скважинах устанавливают при помощи реакции с азотнокислым серебром, в результате которой образуется белый хлопьевидный осадок хлористого серебра.

Располагая данными о расстоянии L между наблюдательной и средней скважинами, в которой появилась окрашенная вода, а также о времени t прохождения водой этого пути, устанавливают скорость грунтового потока:

$$v = h/t.$$

Скорость движения грунтового потока обычно колеблется в пределах 3—12 м/сут.

Определение направления потока по трем точкам. На местности, где необходимо определить направление движения грунтовых вод, выбирают три колодца или скважины, расположенные в виде треугольника. Для каждого из колодцев определяют отметки уровней грунтовых вод. Для этого нивелированием определяют отметки земной поверхности у скважины или колодца, затем точно измеряют глубину залегания грунтовых вод и вычисляют отметки уровней воды в колодцах.

Искомое направление грунтового потока устанавливают графически (рис. 12). Соединив точки А, Б и В сплошными линиями, делят сторону АВ, где имеется наибольшая разница в уровнях, на разность отметок, т. е. на пять равных частей. Полагая равномерное падение уровня от колодца А к колодцу В, интерполированием находят точку Д, уровень которой соответствует уровню воды в колодце Б. Прямая, перпендикулярная к линии, соединяющей точки Д и В, будет искомым направлением потока, как наиболее короткая, и называется *линией гидроизогипс*.

§ 3. Напорные воды и источники

Подземные воды, находящиеся в водоносных слоях различных горных пород, залегающих между водоупорными слоями (преимущественно в коренных породах), называют *напорными*, или

артезианскими и. Наиболее типичным является залегание этих вод в синклиналиных складках.

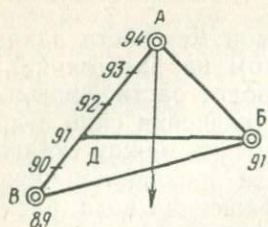


Рис. 12. Схема расположения выработок при определении направления течения грунтового потока по способу трех точек

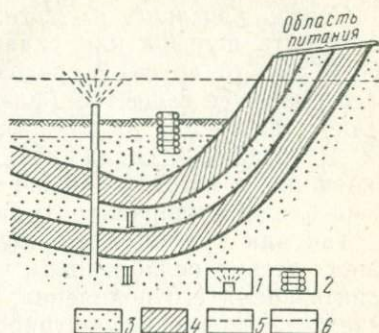


Рис. 13. Артезианская вода и восходящие источники:

1 — артезианский колодец с излившейся водой; 2 — обыкновенный колодец; 3 — водопроницаемые и 4 — водонепроницаемые пласты; 5 — пьезометрический уровень напорных вод; 6 — уровень грунтовых вод

Из рис. 13 видно, что вода в водоносном слое I не перекрыта водоупорной породой и уровень ее *б* свободный (грунтовая вода), вода в слоях II и III находится под напором (давлением), обусловленным наличием водонепроницаемых пород и высоким положением области питания. Линия *б* показывает уровень, до которого будет подниматься вода из водоносных слоев II и III при вскрытии буровыми скважинами. Этот уровень называется пьезометрическим. Если заложить скважину до водоносных слоев II и III, то вода поднимается по трубе и будет бить фонтаном. Такие скважины называются артезианскими. Существуют также трещинные напорные воды, приуроченные к трещиноватым породам любого происхождения.

Артезианские воды имеют большое значение в водоснабжении городов и поселков. Лежащие близко к дневной поверхности грунтовые воды вследствие загрязнения не всегда могут быть использованы для питья. Артезианские воды обычно отличаются хорошим качеством, причем наличие у них напора позволяет получать питьевую воду без применения водоподъемных средств.

В СССР напорные воды встречаются в Московском каменноугольном бассейне, в районе г. Ленинграда, на Украине и во многих других местах, где они широко используются для водоснабжения.

Естественные выходы подземных вод на дневную поверхность получили название источников (ключи, родники). Различают два основных типа источников: нисходящие и восходящие.

Нисходящие источники приурочены к пересечению водоносно-

го пласта с земной поверхностью, что обычно бывает на склонах эрозионных долин рек, в оврагах и балках (см. рис. 11). Для этого вида источников характерно отсутствие напора.

Восходящие источники приурочены к выходу на поверхность межпластовых или трещинных вод, находящихся под значительным напором. Вода этих источников поднимается снизу вверх и выходит в виде струи, часто пробиваясь через наносы (см. рис. 13). Как нисходящие, так и восходящие источники широко используются для водоснабжения.

Количество воды, притекающей к колодцу (скважине) в единицу времени, называют дебитом источника. Дебит исчисляется в литрах в секунду или в кубических метрах в сутки.

§ 4. Законы движения подземных вод и методы искусственного понижения уровня грунтовых вод

В горных породах свободная вода способна перемещаться под действием силы тяжести, которая при наличии разности уровней воды в двух точках создает разность напора Δh (рис. 14). Под действием Δh из сечения AA_1 вода перетекает в направлении BB_1 . Скорость подземного потока v будет зависеть от разности напора Δh (чем эта разность больше, тем больше скорость) и длины пути фильтрации l (чем меньше путь фильтрации, тем больше ее скорость).

Отношение $\Delta h/l$ называют гидравлическим уклоном, или градиентом, и обозначают через i (см. рис. 14).

В том случае, когда поток фильтруется через пористые горные породы, подобные гравию, песку или гальке, его движение называют параллельно-струйчатым (ламинарным), и оно подчиняется линейному закону фильтрации (закон Дарси):

$$Q = kNi,$$

где k — постоянная, зависящая от свойств породы, называемая коэффициентом фильтрации; Q — расход, т. е. количество воды, фильтрующейся за единицу времени; N — площадь поперечного сечения; i — уклон.

При $i=1$ для площади поперечного сечения $N=1$, $Q=k$.

В породах, имеющих широкие трещины или пустоты, движение воды подобно течению ее в трубах или открытых каналах и имеет характер вихревого (турбулентного) движения. В этом случае скорость подземного потока v подчиняется следующей зависимости:

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

где c — коэффициент, зависящий от шероховатости стенок и других условий; R — гидравлический радиус, т. е. отношение площади поперечного сечения потока к смоченному периметру.

При постройке мостов, дорог и осушении территорий с высоким уровнем залегания грунтовых вод часто возникает необходимость его искусственного понижения. Это осуществляется залеже-

нием глубоких канав, дренажей, скважин или колодцев, вода из которых может быть отведена или выкачана. Понижение уровня при этом тем значительней, чем большее количество воды отводится или откачивается из этих устройств.

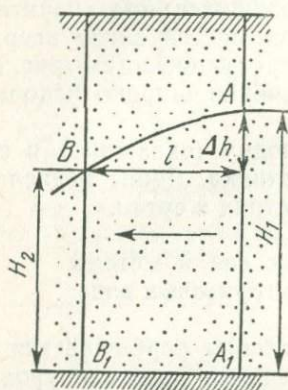


Рис. 14. Схема движения подземного потока воды:

AB — поверхность потока; A_1B_1 — водоупорное ложе; $\Delta h = H_1 - H_2$ — разность напоров; l — длина пути потока между сечениями AA_1 и BB_1

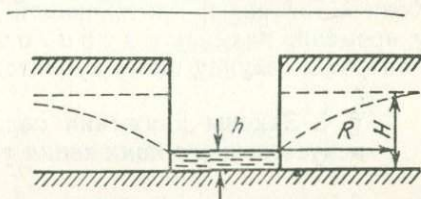


Рис. 15. Разрез водосборной канавы

Рассмотрим движение грунтовых вод в канаве прямоугольного сечения, заложенной до водоупорного слоя (рис. 15). Обозначим мощность потока грунтовых вод через H , слой воды в канаве — через h . В связи с наличием разности уровней грунтовых вод и воды в канаве будет происходить движение воды от точки с более высоким положением уровня воды к месту с более низким, т. е. будет иметь место приток воды в канаву. Вместе с тем на прилегающих с двух сторон к канаве участках водоносного горизонта уровень грунтовых вод будет понижаться и спустя некоторое время установится в виде депрессионной кривой, напоминающей по форме воронку.

Приток воды Q с двух сторон канавы на протяжении ее будет равен

$$Q = kL(H^2 - h^2)/R,$$

где k — коэффициент фильтрации (в м/сут), ориентировочно принимаемый для крупнозернистого песка более 10, среднезернистого 5—10, мелкозернистого 1—5; для супесей он составляет 0,1—1, для суглинков и глин — менее 0,1; R — радиус влияния канавы, или радиус понижения (депрессии) уровня.

Необходимые для расчета притока воды в канаву данные о величинах k , R и H получают в результате гидрогеологических исследований.

Если измерениями будет установлен фактический расход воды в канаве, то расстояние R можно вычислить по формуле:

$$R = kL(H^2 - h^2)/Q.$$

Радиус R понижения уровня (депрессия) приблизительно равен (в м): для супесей и суглинков около 50; для песков мелкозернистых 100—200, среднезернистых 200—400 и крупнозернистых 400—600; для гравия, гальки и трещиноватых пород 500—1000.

Закладывая на осушаемой территории несколько параллельных канав и строя для них графики депрессии, можно определить средний уровень понижения грунтовых вод.

Поглощающие колодцы. В том случае, когда грунтовые воды залегают близко от дневной поверхности и могут отрицательно сказываться на эксплуатации земляного полотна и дорожного покрытия, а отвод их сопряжен с большими трудностями ввиду равнинного характера местности, иногда устраивают поглощающие колодцы. Они представляют собой колодцы или буровые скважины, служащие для спуска грунтовых вод в более глубокие водопроницаемые слои, способные поглощать воду.

Перед устройством поглощающих колодцев тщательно изучают местность с точки зрения ее геологического строения и проводят опытный спуск воды. При спуске грунтовых вод в поглощающий колодец происходит понижение их уровня, т. е. образуется воронка осушения (депресссионная). Одновременно в слое, куда спускаются грунтовые воды, образуется воронка поглощения, обращенная узкой частью кверху (рис. 16).

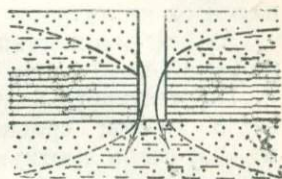


Рис. 16. Поглощающий колодец

Зная радиус депрессии R одного колодца, определяемый опытным путем, устанавливают число поглощающих колодцев, необходимых для осушения местности.

§ 5. Химический состав подземных вод

Атмосферная вода, просачиваясь через толщу горных пород, растворяет на своем пути некоторую наиболее растворимую часть их, вследствие чего она обогащается такими солями, как NaCl , Na_2SO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 и др. Кроме того, в воде растворяются различные газы: кислород, азот, углекислый и др. По этой причине подземные воды всегда содержат в растворенном состоянии большее или меньшее количество солей и газов тех или других соединений. В южных районах нашей страны, например в Прикаспийской низменности, грунтовые воды обычно сильно засолены, что обусловлено высоким содержанием растворимых солей в горных породах, а также интенсивным испарением грунтовых вод в летнее время.

Растворенные в воде соединения и газы придают ей различный вкус и свойства и определяют степень пригодности воды для питьевых и технических целей.

По общему содержанию растворенных солей (в г/л) подземные воды разделяются: на пресные — при содержании растворенных солей до 1, солоноватые — от 1 до 10, соленые — 10—50, рассолы — более 50.

Вода для питьевых целей. Вода для питья должна быть бесцветной, прозрачной, приятной на вкус и не иметь запаха. Золотисто-желтая или бурая окраска воды указывает на наличие в ней растворенных органических веществ. Соленый вкус придает значительное количество NaCl , а горький — MgSO_4 . Количество растворенных солей в хорошей питьевой воде не должно превышать 1 г/л.

Вода не должна содержать вредных для здоровья человека элементов (урана, свинца, мышьяка и др.), а также болезнетворных бактерий. Общие требования к качеству воды для питьевых целей определяются Государственным стандартом (ГОСТ 2874—73).

Жесткость воды. При значительном содержании растворенных солей кальция и магния вода дает большую накипь в паровых котлах, плохо мылится и в ней плохо развариваются продукты питания: такую воду называют жесткой.

Жесткость воды в СССР принято выражать в миллиграмм-эквивалентах на литр.

За 1 мг-экв жесткости принимается содержание в 1 л воды 20,04 мг иона кальция или 12,16 мг/л иона магния.

По жесткости воду разделяют: на мягкую — с жесткостью менее 3 мг-экв; средней жесткости — 3—6 мг-экв; жесткую — 6—9 мг-экв; очень жесткую — более 9 мг-экв.

Для паровых котлов и радиаторов автомобилей должна применяться только мягкая вода. Для питья наилучшими вкусовыми качествами обладает вода с жесткостью не более 7 мг-экв; при жесткости более 18 мг-экв вода становится не пригодной для питья.

Агрессивные воды. Под агрессивностью воды принято понимать разрушающее действие ее на бетон, изготовленный на портландцементе. Агрессивность воде придает некоторая часть растворенного в ней свободного углекислого газа CO_2 .

В процессе взаимодействия цемента с водой выделяется свободная известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$, которая легко вступает во взаимодействие с содержащейся в воде углекислотой. Образующийся при этом бикарбонат кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ как легкорастворимый при известных условиях может быть вынесен из бетона, что приводит к разрушению затвердевшего портландцемента.

Разрушающее действие на бетон могут также оказывать соли серной кислоты, если они содержатся в значительном количестве. Требования к качеству воды для приготовления бетона, употребляемого при дорожном строительстве, определяются ГОСТ 8424—72.

§ 6. Оползни, карст, осыпи

В результате длительного воздействия подземных вод или же совместного действия поверхностных грунтовых и подземных вод на различные горные породы, в природных условиях при сочетании ряда факторов возникают явления, вызывающие значительное снижение прочности пород, смещение их по уклону местности или изменение рельефа местности. Такие явления ведут к образованию оползней и карста, что значительно осложняет строительство и эксплуатацию автомобильных дорог и других сооружений в таких районах.

Оползни. Оползнями называют участки местности, где проявляется медленное скользящее смещение больших масс горных пород вниз по склону без опрокидывания частей отделившейся массы. Происходит это под влиянием силы тяжести. Оползни возникают

вследствие нарушения равновесия породы, ослабления прочности и устойчивости пород при переувлажнении их осадками и подземными водами, воздействия сейсмических толчков или строительной и хозяйственной деятельности, проводимой без учета геологических и гидрогеологических условий местности.

Наиболее часто оползни возникают на крутых склонах, сложенных чередующимися водоупорными (глинистыми) и водоносными породами (песчано-гравийными, трещиноватыми, известняковыми). При этом поверхность, по которой оползает массив грунта, часто располагается на относительно большой глубине, измеряемой десятками метров.

Для возникновения и развития оползней необходимо сочетание определенных условий. Наибольшее значение имеют: высота, крутизна и форма склона; геолого-литологическое строение и свойства пород; гидрогеологические условия.

Поверхность, по которой происходит оползание или скольжение оползневого тела (земляных масс), называется поверхностью скольжения или оползания. На практике ее часто принимают за цилиндрическую поверхность (рис. 17).

Во многих случаях поверхность скольжения может быть волнистой, ломаной или плоской, что определяется структурой склона, составом и свойствами слагающих его пород и условиями увлажнения. Место выхода кривой скольжения на склоне представляет собой подошву оползня; иногда она расположена глубже подножия склона. Оползень может вызывать выдавливание перед собой земляных масс, за счет которых происходит образование валов или складок иногда значительных размеров.

Такого рода образования можно встретить у подножия правого берега р. Волги, у городов Горького, Ульяновска и Саратова, а также в некоторых местах побережья Черного моря.

В массе оползневого тела может быть активная, или скальзывающая часть оползня, и пассивная, или выталкиваемая его часть. Для активной части оползня характерны трещины поперечного отрыва, вызванные растягивающими усилиями, возникающими в оползневом теле. Бугры выпирания, трещины раскола и оползневые надвиги наблюдаются в пассивной части оползня.

Внешний вид оползневых склонов весьма разнообразен; его подробное и внимательное изучение позволяет правильное подойти к расчету устойчивости склонов и разработке эффективных противооползневых мероприятий.

Большое многообразие причин, обуславливающих проявление оползней, вызывает применение различных противооползневых мероприятий, которые разрабатываются в каждом конкретном

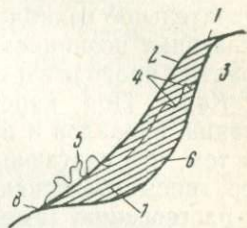


Рис. 17. Элементы оползневого склона:

- 1 — бровка срыва; 2 — положение склона до оползня; 3 — коренные породы; 4 — оползневые террасы; 5 — вал выпучивания; 6 — поверхность скольжения; 7 — оползневая масса грунта; 8 — подошва оползня

случае с учетом всего комплекса местных условий (геологических, гидрогеологических и др.).

Противооползневые мероприятия могут быть направлены: 1) на уменьшение или устранение сил, приводящих к сдвигу пород; 2) на изменение в лучшую сторону физического состояния пород, слагающих оползневой склон; 3) на полное исключение или значительное ослабление процессов и причин, непосредственно вызывающих возникновение оползней. Во многих случаях эти мероприятия проводятся одновременно.

Карст. Под карстом понимают совокупность разнообразных впадин, провалов и пустот (пещер), появление которых обусловлено тем, что слагающие данную местность горные породы (например, гипсы, известняки, доломиты) относительно легко подвергаются растворению (выщелачиванию) подземными или поверхностными водами.

В закарстованных массивах постепенно образуются подземные ходы, полости и пещеры сложной конфигурации и в отдельных случаях большой протяженности.

Карстовые явления получили наименование от известнякового плато Карст, расположенного в Югославии.

Суммарная площадь на территории СССР, где развит карст или возможно его образование, составляет около 18 млн. км², из которых 40% падает на карст в известняках. Гипсы и анагидриты по сравнению с известняками образуют небольшие площади и занимают около 3,5 млн. км².

В пределах материков обнаженные и погребенные карстующиеся породы занимают (в млн. км²): карбонатные — до 40, гипсы и ангидриты — около 7, каменная соль до 4.

Карст галлоидных солей занимает относительно небольшие площади.

Факторы, способствующие образованию и развитию карста, весьма разнообразны. Главными из них являются: 1) химический и петрографический состав пород; 2) проницаемость, трещиноватость, мощность пород и условия залегания и циркуляции подземных вод; 3) химический состав, температура и степень минерализации вод; 4) характер растительности и особенности рельефа в карстовых районах; 5) гидрография карстового района.

В результате карстовых явлений, представляющих собой совокупность сложных процессов подземного растворения (выщелачивания) горных пород, на земной поверхности формируется карстовый рельеф, характеризующийся наличием пустот, провалов, пещер и т. д.

Формы карстового рельефа. Они весьма различны и зависят от того, является ли карст открытым (поверхностным) или закрытым (глубинным). В районах распространения открытого карста карстующиеся породы выходят непосредственно на дневную поверхность. Такой карст встречается, например, в Крыму и Закавказье. При закрытом карсте карстующиеся породы бывают прикрыты более молодыми рыхлыми отложениями различной мощности.

В районах с открытым карстом атмосферные воды непосредственно воздействуют на карстующие породы. При закрытом карсте атмосферные воды проникают к карстующимся породам только в том случае, если вышележащие отложения представлены водонепроницаемыми породами.

В карстовых районах сильно усложняется промышленное и гидротехническое строительство. Эти районы неблагоприятны также для создания автомобильных и железных дорог. Обеспечение устойчивости транспортных сооружений в карстовых районах в ряде случаев требует больших затрат, которые не всегда оправдываются, поскольку возведенные сооружения оказываются неустойчивыми.

Поэтому при проектировании автомобильных дорог карстовые районы по возможности следует обходить.

Осыпи. Осыпями называют скопление обломков горных пород основания и в нижней части крутых горных склонов. Они образуются в результате преимущественно физического выветривания горных пород и скатывания обломков породы вниз по склону под действием силы тяжести (без участия воды). В результате накапливается несортированный и несвязный материал, состоящий обычно из угловатых обломков различного размера — от песчаных зерен до мелкого и крупного щебня и даже глыб с поперечником в несколько метров.

Осыпи имеют форму конуса, прислоненного к склону, или прерывистого вала (шлейфа), окаймляющего подножие крутого склона; уклон их близок к углу естественного откоса, крутизна которого достигает $30-45^\circ$. В зависимости от крутизны откоса и крупности накопившихся обломков осыпи различаются степенью подвижности.

По степени подвижности осыпи можно подразделить на действующие, т. е. находящиеся в стадии интенсивной подвижки, и затахнувшие, находящиеся в стадии крайне незначительной подвижки и в стадии стабилизации формы и объема накопившегося материала.

Действующие осыпи обычно обнажены и лишены растительности; затахнувшие — покрыты растительностью, преимущественно травянистой и отчасти кустарниковой, однако дерновый покров на таких осыпях крайне незначителен по своей толщине, на них можно встретить также не только кустарник, но и древесную растительность.

При строительстве автомобильных дорог наиболее опасны действующие осыпи, поскольку под влиянием движущегося транспорта они легко могут сползти и разрушить дорогу. При изысканиях действующие и даже затахнувшие осыпи следует обходить. Если же обход осыпи невозможен, то следует предусмотреть мероприятия, обеспечивающие их устойчивость и безопасность эксплуатации дороги путем устройства подпорных стен, галерей и пр.

Обломочный щебеннистый материал действующих или затахнувших осыпей часто используется в качестве дорожно-строительного каменного материала.

§ 1. Понятие о геологическом возрасте

По современным представлениям, возраст Земли определяется в 5 млрд. лет. По теории О. Ю. Шмидта, Земля еще в раннюю пору имела воду и атмосферу, хотя последняя существенно отличалась от современной. В начальные этапы существования Земли под воздействием силы тяжести энергично протекали процессы расслоения вещества, местные извержения расплавленных веществ с образованием изверженных горных пород и процессы выветривания, изменявшие эти породы.

Развитие начальных белковых веществ в течение длительного времени привело к образованию разнообразных животных и растительных форм. С этого этапа развития Земли можно проследить ее геологическую историю, изучая ископаемые растения и животные, встречаемые в толщах осадочных пород. Эти остатки сохранились до наших дней в виде окаменелостей, т. е. твердых остатков животных и растений (раковин, костей, зубов, игл, древесины и пр), или отпечатков. Они являются убедительными документами, свидетельствующими о развитии жизни на Земле и ее сложной геологической истории.

Систематизация и изучение окаменелостей и отпечатков позволили установить, что жизнь на Земле развивалась от самых простых, низших форм до наиболее сложных и совершенных, вплоть до появления и развития человека. В определенные промежутки геологической истории существовали характерные для них виды животных и растений, которые, отмирая, оставляли окаменелости и отпечатки в осадочных горных породах. Это дало возможность разделить историю Земли на ряд промежутков времени и определить относительный возраст осадочных горных пород, т. е. установить, какие из пород старше и какие моложе.

Окаменевшие остатки животных или растений, по которым можно распознать относительный возраст пород, называют руководящими формами.

Наиболее крупный промежуток времени в геологической хронологии получил название эры, а толща пород, образовавшихся за это время, — группы. Дальнейшее подразделение геологических эр (групп) производится на периоды (системы), эпохи (отделы) и века (ярусы).

В настоящее время геологическая история Земли подразделяется на следующие эры, начиная с самой молодой: кайнозойская* (60—70), мезозойская (160—170), палеозойская (320—350), протерозойская (2000—2200), архейская (значительно более 800).

* В скобках дана продолжительность эры в миллионах лет.

Деление эр на периоды, предполагаемая продолжительность их и наиболее характерные представители органического мира, существовавшие в определенный период или эру, кратко рассматриваются в § 2.

Мощность толщи осадочных горных пород в СССР различна: в Ленинградской области она достигает 200 м, в Московской — 1650 м, в районе Баку — более 4000 м, в Донбассе — 11 000 м. Осадочные породы представлены многократно чередующимися пластами глин, известняков, песчаников и других пород. Оценить и правильно разобраться в них можно лишь только на основе определения геологического возраста пород.

Иногда при изучении толщи осадочных пород все дочетвертичные напластования, т. е. образовавшиеся до современного, четвертичного геологического периода, объединяют под общим наименованием *коренных пород*.

В настоящее время разработаны методы, позволяющие определять абсолютный возраст по распаду радиоактивных элементов, входящих в состав минералов.

§ 2. Развитие жизни на Земле и основные геологические события

Архейская и протерозойская эры. В породах архейской эры не обнаружено достаточно ясных свидетелей жизни — окаменелостей и отпечатков. Однако это не свидетельствует об отсутствии жизни на Земле в то время. Современная наука доказывает, что живые существа появились в самую раннюю архейскую эру в результате действия объективных законов развития материи. Наиболее разработанной гипотезой о происхождении жизни на Земле является теория академика А. И. Опарина. По этой теории, в результате взаимодействия парообразной и жидкой воды с карбидами железа, в изобилии содержащимися в первичной земной коре, происходило выделение простейших углеводородов. Последние, соединяясь друг с другом, с парами воды и азотом воздуха, постепенно образовали сложные органические соединения, которые накапливались в водных бассейнах и являлись материалом для построения живых существ.

Архейская и протерозойская эры характеризуются интенсивной вулканической деятельностью и горообразовательными процессами. В это время произошло расчленение земной коры на участки — жесткие платформы и подвижные геосинклинали.

В пределах европейской части СССР находится Русская платформа, географическая занимающая пространство, ограниченное с востока Уралом, с запада Карпатами, с юга Крымом и Кавказом, а с севера полярными морями.

Выступы пород кристаллического фундамента на поверхности земли называют *щитами*. На территории Русской равнины имеются два кристаллических щита: Балтийский (Фенно-Скандинав-

ский) и Украинский (Азово-Подольский). Балтийский щит занимает Кольский полуостров, Карелию, Финляндию, Швецию и Норвегию. Он сложен крупнозернистыми гранитами, порфирами, гнейсами и кварцитами. Изредка встречаются мраморы и диабазы.

Украинский щит расположен на территории СССР. Он простирается от района городов Житомира и Коростень на юго-восток до Азовского моря. Щит сложен гранитами, габбро, гнейсами, а местами (г. Овруч, с. Криворожье) кварцитами и сланцами. Северо-западная и юго-восточная части щита покрыты небольшим слоем четвертичных наносов (пески, лёсс и др.). Средняя часть щита покрыта довольно мощным (7—15 м) слоем палеогеновых, неогеновых и четвертичных отложений, поэтому архейские породы обнажаются здесь только по долинам рек и оврагам.

На территории, занимаемой Украинским щитом, в многочисленных карьерах разрабатываются каменные материалы магматических горных пород и их элювий (дресва).

Палеозойская эра. Органический мир палеозойской эры характеризуется богатством и разнообразием форм, существовавших в море и на суше. В наиболее древний, кембрийский период этой эры море населяли простые животные: губки, медузы, черви, плеченогие и членистоногие.

В ордовикский и силурийский периоды происходили интенсивные горообразовательные процессы (каледонская складчатость). Животный мир в девонское время становился все совершеннее и разнообразнее, особенно это касалось рыб. Появились головоногие моллюски — аммониты, а также первые наземные позвоночные животные.

Каменноугольный период характеризуется развитием обильной наземной растительности — папоротников, сигиллярий, лепидодендронов, каламитов и других, которые достигали огромных размеров и послужили основой для образования каменных углей.

В течение всей палеозойской эры море многократно заливало Русскую равнину, оставив после себя мощные толщи известняков, глин, гипсов и других пород. Наиболее древние осадочные породы — кембрийские синие глины — распространены под Ленинградом; сверху они покрыты ледниковыми отложениями. Там же, а также в прибалтийских республиках и в ряде мест Восточной и Центральной Сибири залегают силурийские и девонские известняки, мергели и песчаники, которые покрыты четвертичными отложениями и часто вскрываются по долинам рек.

Породы каменноугольного возраста весьма широко распространены на территории СССР; они встречаются в Подмосковье и в Донбассе, вдоль восточного и западного склонов Уральского хребта, в Кузнецком бассейне и в ряде других мест. Эти породы представлены известняками различной прочности, кварцевыми песчаниками, черными глинами и каменными углями. Мощность этих отложений в Подмосковном бассейне достигает 0,5 км, а в Донбассе — 10 км.

На территории, занятой каменноугольными отложениями, имеется много карьеров, в которых разрабатываются известняки и реже кварцевые песчаники.

Широко распространены на Русской равнине отложения пермского возраста, залегающие широкой полосой вдоль западного склона Уральского хребта, а также в ряде мест Сибири и Дальнего Востока. Эта система представлена красными глинами и мергелями, известняками, гипсами, ангидритами и конгломератами. Общая мощность их достигает 2000 м. Известняки пермского возраста часто используются как дорожно-строительные материалы.

В течение каменноугольного и пермского периодов на востоке Русской равнины происходили значительные горообразовательные процессы (герцинская складчатость), завершившиеся в пермский период созданием Уральского хребта. В дальнейшем (за 250—300 млн. лет) первоначальные вершины Уральских гор сильно разрушились от выветривания, сгладился рельеф, на поверхности обнажились более древние породы.

Вдоль Уральского хребта расположено много крупных карьеров, обеспечивающих строительными материалами города Свердловск, Челябинск, Магнитогорск, Златоуст и др.

Из других имеющихся на Урале материалов необходимо указать дресву гранитов и диоритов, покрывающую коренные породы, а также гравий и песок аллювиального происхождения, залегающие в сравнительно небольших количествах по берегам рек.

Мезозойская эра. В это время происходило дальнейшее развитие морских и наземных животных, в особенности пресмыкающихся, которые в *юрское время* достигли наибольшего развития. Из них необходимо отметить гигантских динозавров, достигавших 30 м в длину и 5 м в высоту.

В мезозойскую эру происходили медленные опускания и поднятия материков, которые вызывали то наступление моря на сушу (трансгрессии), то его отступление (регрессии). Таких трансгрессий и регрессий моря на протяжении эры было несколько, в результате чего во многих местах Русской равнины встречаются мощные толщи мела, опок, известняков, глин и других пород триасового, юрского и мелового возраста. Примером могут служить залежи мела в северной части СССР, средней части рек Дона и Волги, а также залежи опок у городов Брянска и Пензы.

Кайнозойская эра. Три периода этой эры — палеогеновый, неогеновый и четвертичный — отличаются продолжительностью: первые два, объединяемые ранее в один третичный период, весьма длительные (около 67 млн. лет), четвертичный сравнительно короткий (1 млн. лет).

Палеоген и неоген являются промежутками времени, в течение которого животные и особенно растения значительно приблизились к современным формам. В продолжение этих периодов изменился рельеф земного шара. Еще в конце мелового периода началось образование Кавказских и Крымских складчатых гор (а л

пийская складчатость), а также хребта Сихотэ-Алинь на Дальнем Востоке, завершившееся в неогеновый период. К этому же времени относится образование Карпатских гор и гор Камчатки, Сахалина и Курильских островов.

Кавказские горы представляют собой молодую складчатую горную страну. На их поверхности можно видеть огромные толщи осадочных пород мелового и юрского возраста, а в центральной части на дневную поверхность выходят граниты и порфиры.

Вместе с горообразовательными процессами имели место медленные поднятия и опускания материков, в связи с чем море заливало огромные площади суши с образованием осадков, которые преобразовывались в толщи глин, меловидных и ракушечниковых известняков, опок и пр.

Эти породы широко распространены в ряде южных районов нашей страны: на плато Устюрт (средней прочности и слабые известняки и мергели), на северном побережье Черного моря (известняки-ракушечники) и в других местах.

Умеренно холодный климат конца неогенового времени сменился холодным климатом с последующим чередованием более теплых и холодных веков четвертичного периода.

§ 3. Четвертичные отложения

Четвертичный, или антропогенный период — наиболее молодой в истории развития Земли. Коренные породы Русской равнины, Западно-Сибирской и Туранской низменностей, а также ряда других районов нашей страны в этот период покрылись мощной толщей четвертичных отложений: моренными глинами и суглинками, водно-ледниковыми песками и грубообломочными породами, лёссами и лёссовидными суглинками, торфом и др.

Четвертичные отложения обычно являются естественными основаниями для дорожных и других сооружений, и от их качества во многом зависит конструкция фундаментов и прочность сооружений. Они широко используются как материалы для создания насыпей, дамб, дорожных одежд или в качестве топлива (торф, сапропель). В четвертичных отложениях чаще всего приходится устраивать выемки и проводить мероприятия по обеспечению устойчивости сооружений (осушение, устройство насыпей на болотах и т. д.).

К характерным особенностям четвертичных отложений можно отнести следующие: 1) небольшая мощность пород по сравнению с отложениями более древних геологических систем; в пониженных местах мощность четвертичных отложений достигает нескольких десятков и даже сотен метров, в то время как на возвышенностях она сходит почти на нет; 2) относительно малая связность пород обусловлена незначительностью срока их существования, вследствие чего не успели еще проявиться в должной мере процессы уплотнения и другие изменения (диагенез); 3) большая подвижность пород, что связано с непосредственным воздействием на них дену-

дационных агентов (смывание, растворение, перенос, отложение, переотложения и пр.).

Четвертичные отложения характеризуются весьма большим разнообразием пород, отличающихся условиями происхождения (генезисом) и литологическим составом.

Ниже дана краткая характеристика наиболее распространенных типов четвертичных отложений, широко используемых при строительстве автомобильных дорог.

Грунты ледникового происхождения. Оледенения, происходившие в четвертичном периоде и характеризовавшиеся периодическим наступлением и таянием ледника (межледниковья), захватили огромные площади в северной части Европы и Азии.

В результате этого на территории, лежащей к северу от линии Лондон — Краков — Житомир — Киев — Орел — Воронеж — Пенза — Казань — Серов, образовалась мощная толща грунтов (до 100 м и более) ледникового происхождения, различного состава и свойств.

Среди отложений ледникового происхождения наиболее широко распространены: а) моренные (морена); б) водно-ледниковые (флювиогляциальные); в) озерно-ледниковые.

Моренные отложения представляют собой скопления обломков горных пород различной крупности, которые находились как в массе ледника, так и вне его. Различают морены конечные и основные.

Конечные морены характеризуются наличием большой массы крупнообломочного материала (валунов, гальки, гравия, песка), смешанного с супесями или суглинками, залегающими в виде удлиненных возвышенных валов, вытянутых в направлении, перпендикулярном к движению ледника.

Примером конечных морен может служить Белорусская гряда (Минская, Новогрудская, Ломжинские и другие высоты), возвышающаяся над окружающей местностью до 75 м. Она сложена валунными суглинками и супесчаными грунтами, а местами песчано-гравийными или гравийными отложениями.

Грунты конечных морен заслуживают большого внимания, поскольку среди них часто встречаются скопления высококачественных дорожно-строительных материалов — валунов, гравийно-галечных и песчаных материалов.

Основные морены представлены глинами, суглинками и супесями с включениями валунов, гальки и гравия. Они залегают толщей различной мощности — от одного до нескольких десятков метров почти на всей территории, когда-то занятой ледником.

Вследствие большой плотности моренные грунты характеризуются малой сжимаемостью и большим внутренним трением; в связи с этим они являются устойчивыми основаниями инженерных сооружений (мостов, зданий и др.) и хорошим материалом для отсыпки земляных сооружений (насыпей, дамб и т. д.).

Наряду с положительными качествами моренных грунтов следует указать и на отрицательное: содержащиеся в них крупные

валуны затрудняют применение современных средств механизации при разработке выемок или карьеров.

Флювиогляциальные отложения (водно-ледниковые) являются наносами временных рек и потоков, которые возникали при таянии ледников. В непосредственной близости от края таявшего ледника отлагались валунно-галечниковый материал и грубо отсортированные пески, образовавшие валообразные возвышенности озы, напоминающие извилистую железнодорожную насыпь, или неправильно и беспорядочно расположенные холмы и увалы камы, разделенные котловинами. Высота камов над окружающей местностью колеблется от единиц до 100 м. Поверхность их обычно сложена супесями, а внутри они содержат песок и гравий. В разрезе обнаруживается хорошо выраженная слоистость.

Широкое распространение имеют грунты, образовавшиеся в результате разливов талых ледниковых вод на территории, относительно удаленной от края таявшего ледника. При этом более отсортированные тонкозернистые грунты отлагались в виде разнотернистых песков, супесей и пылеватых суглинков. Последние обычно называют *покровными суглинками*, поскольку они, как плащом, покрывают отложившиеся ранее четвертичные образования.

В центральных районах европейской части СССР покровные суглинки и глины имеют широкое распространение. Характерной особенностью их является: хорошая отсортированность частиц, малое содержание песчаных разностей; отсутствие валунов и гравия; хорошо выраженная крупноореховатая и призматическая структуры в верхних слоях, затронутых процессом почвообразования; желто-бурая окраска и преобладание пылеватых частиц. Грунтовые дороги на покровных суглинках и глинах в сухое время года сильно пылят, а в периоды распутицы приходят в непроезжее состояние. При сильном увлажнении такие грунты быстро размокают и налипают на колеса автомобилей, образуя липкую грязь. При добавлении песка или гравия свойства таких грунтов значительно улучшаются.

В земляном полотне, а также в основаниях различных сооружений при достаточной плотности они вполне устойчивы.

Озерно-ледниковые грунты представляют собой отложения озер, образовавшихся после таяния ледников. Они характеризуются чередованием песчаных и глинистых прослоек и ограниченным распространением. Примером таких отложений может служить ленточная глина, встречающаяся в Ленинградской и других областях. Озерно-ледниковые грунты очень разнообразны по составу и свойствам.

Лёсс и лёссовидные суглинки. В окраинных зонах пустынь и прилегающих к ним степях, а также на горных склонах, при определенных условиях формируется своеобразный тип континентальных глинистых отложений — лёссы. Лёссом называют малосвязную, легко растирающуюся пальцами неслоистую породу палевого, палево-желтого или светло-желтого цвета, пронизанную тонки-

ми вертикальными круглыми ходами, оставленными отмершими стеблями и корнями растений.

По ряду свойств и гранулометрическому составу лёссы близки к покровным суглинкам. В лёссах обычно отсутствуют песчаные частицы крупнее 0,25 мм, но зато преобладает фракция крупной пыли — частицы размером 0,05—0,01 мм, содержание которых может достигать 70% по массе.

Существует несколько гипотез происхождения лёссовых грунтов: эоловая, водно-ледниковая, почвенная и др. В настоящее время специалисты все более склоняются к двум гипотезам: эоловой и водно-ледниковой. Согласно эоловой гипотезе, предложенной академиком В. А. Обручевым и дополненной А. Д. Архангельским, Г. Ф. Мирчинком и другими, образование лёссов явилось результатом совместной деятельности ветра, атмосферных осадков и растительности. Водно-ледниковая гипотеза, которой придерживались В. В. Докучаев, К. Д. Глинка и другие, объясняет образование лёссов осадением ила из ледниковых вод, покрывавших в свое время всю территорию вблизи южной границы ледника.

Лёссы очень пористы и содержат карбонаты кальция. Они отличаются большой макропористостью, т. е. содержанием относительно крупных, вытянутых в вертикальном направлении пор (каналцев), размер которых значительно превосходит размер частиц, входящих в состав лёссов. При замачивании водой лёссы дают большую просадку, что часто служит причиной деформаций различных сооружений (просадочные лёссы).

В обнажениях лёссы образуют вертикальные стенки и обрывы. В лёссовых отложениях обычно образуются глубокие овраги, быстро растущие вглубь и в стороны вследствие размывающего действия текущих вод.

Породы, в которых отсутствует какой-либо из характерных для лёсса признаков (большая пористость, карбонатность, палевожелтый цвет, тонкий суглинисто-пылеватый гранулометрический состав, способность давать вертикальные откосы), принято называть лёссовидными суглинками.

Лёссы широко распространены на территории Украины, Западной Сибири, Казахстана, Узбекистана и других среднеазиатских республик, а также в КНР, Венгрии, Румынии и в других странах.

Мощность лёссовых грунтов колеблется в широких пределах: на Украине — от 2 до 20 м, в Западной Сибири — от 5 до 90 м, в Средней Азии — до 50 м и более. В КНР толща лёссов часто достигает 100 м и более.

При строительстве дорог надо учитывать, что грунтовые дороги на лёссах в сухое время чрезмерно пылят. Вследствие малой связности происходит сильное истирание грунта, и на дорогах часто образуется слой пыли в несколько десятков сантиметров. Наступает период «сухой» распутицы. При увлажнении лёссовые грунты быстро размокают, приходят в текучее состояние, и сопротивляемость их нагрузке становится ничтожной. Сооружение

земляного полотна в лёссовых грунтах требует осуществления специальных мер против размывания откосов.

Песчаные грунты. Песчаные грунты различного происхождения широко распространены на территории СССР. По данным Л. И. Прасолова, в СССР ими занята площадь около 1 млн. км². Особенно распространены пески эолового происхождения, встречающиеся преимущественно в юго-восточной части СССР (Прикаспийская и Туранская низменности). Песчаные пустыни Каракум и Кызылкум покрыты на 80 % эоловыми песками.

Эоловые пески характеризуются отсутствием связности, преобладающим частиц размером 0,05—0,25 мм и отсутствием или малым содержанием глинистых частиц (менее 3 %).

В песчаных пустынях выделяют следующие пять основных форм рельефа: барханы, барханные гряды (цепи), грядовые пески, бугристые пески и песчаные равнины.

Барханы представляют собой холмы с неодинаковыми склонами, имеющие в плане вид полумесяца. Они сложены из незакрепленного мелкозернистого песка, легко перемещаемого под действием ветра.

Барханными грядами называются параллельные несимметричные песчаные валы длиной до 700 м и высотой до 25 м, вытянутые перпендикулярно к направлению господствующих ветров. В зависимости от направления ветра барханные цепи могут перемещаться за сезон на расстояние до 20 м.

Грядовые пески залегают в виде параллельных песчаных гряд, вытянутых в направлении господствующих ветров (чаще всего в меридиональном направлении). Расстояние между грядами достигает 60—80 м, а высота гряд — 80 м. Грядовые пески неподвижны, так как обычно закреплены растительностью.

Песчаные грунты являются хорошим материалом для отсыпки земляного полотна и устройства основания. Однако в пустынной обстановке, где обычно залегают подвижные пески и нет условий для развития растительности, сооружение земляного полотна и закрепление его представляют значительные трудности.

Аллювиальные грунты. Аллювием называют отложения, которые образуются в долинах рек и по берегам озер. Аллювиальные грунты обычно представлены гравийно-галечными отложениями, песком различной крупности, лёссовидными или илистыми образованиями, реже суглинками и глинами.

Аллювиальными грунтами обычно сложены аккумулятивные надпойменные и пойменная террасы в долинах реки, а также значительная толща в пойменной и русловой частях долины. Мощность аллювиальных грунтов колеблется в широких пределах: в долинах горных рек — от нескольких сантиметров до 6 м, в равнинных реках — до 50 м и более.

Элювиальные грунты. Элювием называют продукты выветривания горных пород, остающиеся на месте их образования. Обычно элювиальные грунты накапливаются на пологих горных склонах или плоскогорьях (плато), где отсутствует или сильно ослаб-

лен поверхностный сток, а процессы выветривания протекают весьма интенсивно. Характер и свойства элювия весьма разнообразны и зависят от химического и минерального состава пород, в результате разрушения которых эти грунты образовались.

В горных районах Уральского, Яблоневого, Станового и других хребтов, в Карелии и на Украине в местах выхода изверженных глубинных горных пород (гранита и др.) на поверхности часто залегает слой элювия, называемый дресвой.

Дресва представляет собой слабо сцементированный грубозернистый материал (2—20 мм), имеющий в естественных условиях довольно плотное сложение. Благодаря острореберности зерен, большой их прочности и способности к уплотнению и цементации дресва изверженных пород является хорошим материалом для устройства дорожных оснований и покрытий облегченного типа.

Грунты морского происхождения. Морские отложения четвертичного возраста на континенте встречаются в местностях, покрывавшихся в четвертичное время морем, отступившим затем из-за поднятия суши или понижения уровня моря. Обычно грунты морского происхождения находят по берегам морей и в устьях крупных рек при впадении их в моря. Они встречаются в Прибалтике, а также на побережье Баренцова и Карского морей, в северной части Русской равнины и Западно-Сибирской низменности, на полуострове Таймыр и в других местах. На юге морские четвертичные отложения развиты в Прикаспийской низменности и на террасах Черного моря.

По гранулометрическому составу морские грунты весьма разнообразны. На побережье Северного Ледовитого океана они представлены темными песчаными глинами и суглинками, мелкозернистыми песками, иногда с прослоями гравия и торфа.

Морские грунты Прикаспийской низменности сложены глинами и суглинками, имеющими характерную слоистость и шоколадную окраску (шоколадные глины). Они часто содержат гипс и легко растворимые соли. В верхней части толщи можно встретить засоленные пески. Мощность грунтов морского происхождения достигает 70 м.

Болота и их отложения. Болотами называют участки земной поверхности, характеризующиеся избыточным увлажнением верхних слоев горных пород, развитием болотной растительности и образованием торфа. В летнее время болота средних и северных широт покрыты обильной травянистой или моховой растительностью. После отмирания растений происходит их разложение и гумификация. Вследствие плохого доступа воздуха процессы разложения идут медленно; происходит накопление полуразложившейся органической массы коричневого цвета, получившей название торфа. Болота занимают значительные площади в Белоруссии, Карелии, на Украине, в Западной Сибири и других областях.

Болота, в которых слой торфа имеет мощность более 0,5 м, называют торфяными или торфяниками. Они занимают около 5 % площади СССР (почти $\frac{3}{4}$ мировых запасов торфа) и

расположены главным образом на севере и в центральных областях страны.

По происхождению, характеру растительности и другим признакам болота делятся на: 1) верховые, питающиеся атмосферной водой; 2) низинные, питающиеся грунтовой, речной или озерной водой; 3) переходного типа, питание которых происходит за счет атмосферных и грунтовых вод.

Верховые болота развиты на водоразделах преимущественно в лесной зоне, характеризующейся большим количеством выпадающих атмосферных осадков (450—600 мм/год), малым испарением с поверхности почвы и невысокой средней годовой температурой (от -1 до $+3$ °С).

Основное растение верховых болот — белый сфагновый мох. Являясь весьма влагоемким (поглощает воды в 15—20 раз больше собственной массы), он впитывает почти всю воду, выпадающую в виде атмосферных осадков, и этим затрудняет проникновение воздуха в массу растительных осадков. В связи с этим разложение органических веществ протекает весьма слабо, в результате чего происходит накопление сфагнового торфа.

Так как питание верховых болот происходит преимущественно за счет атмосферных вод, бедных минеральными солями, образующийся в верховых болотах моховый торф характеризуется малой зольностью (зольность верхнего слоя менее 4 %) и большой влагоемкостью (до 1000 % и более).

Низинные болота обычно образуются в низких местах (в долинах рек, на берегу озер, морей и т. д.), но иногда могут формироваться и на склонах, в местах выхода грунтовых вод на дневную поверхность. Питание низинных болот происходит за счет грунтовых вод, отличающихся повышенным содержанием минеральных солей (зольность верхнего слоя свыше 6 %).

Для этого вида болот характерно произрастание таких травянистых растений, как осока, пушица, луговой мятлик, камыш, тростник, а из древесных пород — ольха и осина.

Торф низинных болот в связи с произрастанием травянистой и древесной растительности, а в некоторых случаях и с наличием небольшого количества минеральных частиц содержит в себе большое количество зольных веществ (до 30 %) и обладает несколько меньшей влагоемкостью, чем торф моховой (до 500 % и более).

К низинным относятся также болота, образующиеся в результате зарастания водоемов (озер, прудов, стариц, лиманов и т. д.). Отсутствие движения воды в этих водоемах создает благоприятные условия для произрастания по их берегам и на дне большого количества влаголюбивых растений: камыша, тростника, водорослей, водяных лилий, осок и др. На поверхности воды у берегов часто образуется как бы плавающий ковер из густо переплетенных растений, получивший название сплавнины.

На поверхности сплавин поселяются осоки, шейхцерия, камыш, а иногда и различные мхи, в результате чего сплавнины ежегодно

утолщаются и занимают все большую поверхность водоема (рис. 18).

Большую роль в зарастании водоемов играют также населяющие их мельчайшие организмы — сине-зеленые и диатомовые водоросли, грибки, бактерии и др., — получившие общее название планктона.

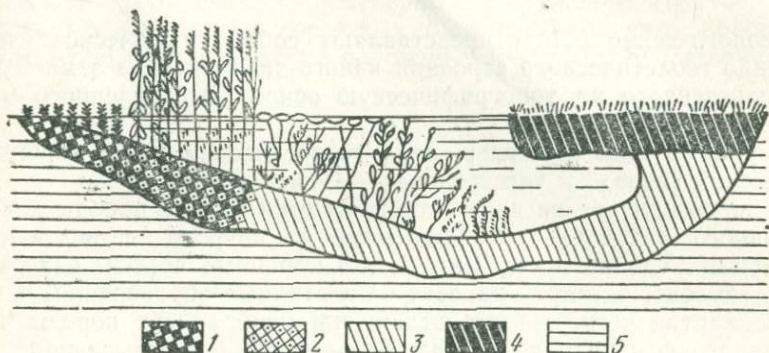


Рис. 18. Зарастание озера:

1 — осоковый торф; 2 — тростниковый и камышовый торф; 3 — сапропель; 4 — славина; 5 — минеральное дно

Остатки этих организмов богаты жирами и воскообразными веществами. За счет выделений этих организмов и разложения их остатков на дне водоема накапливается органический ил, получивший название сапропеля.

Сапропель представляет собой богатую углеводородами студнеобразную массу зольностью от 18 до 80 %. Он отличается чрезвычайной неустойчивостью в случае использования в качестве основания под фундаменты сооружений или дорожные насыпи. В природных условиях сапропель с течением времени уплотняется под давлением вышележащих слоев, претерпевает химические изменения и постепенно переходит в особый вид каменных углей (сапропелит).

По мере накопления органических веществ на поверхности и дне зарастающего водоема объем воды в нем уменьшается, и с течением времени водоем превращается в торфяник. В образующихся таким путем торфяных болотах мощность торфа может достигать 10 м и более.

Торф и сапропель обладают неблагоприятными физико-механическими и строительными свойствами: торф имеет большую влагоемкость (способен удерживать воду в количестве от 300 до 2000 % от массы сухого вещества), сильно сжимается, а при большом разложении и большой влажности обладает способностью растекаться под нагрузкой; сапропель в еще большей степени, чем торф, способен растекаться под нагрузкой и поэтому непригоден в качестве основания для дорожных насыпей и других сооружений.

Следует отметить, что торф представляет собой весьма ценную породу. Наиболее важным является использование торфа в каче-

стве топлива. Многие тепловые электростанции в СССР (Каширская и др.) работают на торфяном топливе. Торф широко используют в сельском хозяйстве в качестве удобрения, а в строительстве его применяют как теплоизоляционный материал.

§ 4. Геологические карты

Геологические карты представляют собой графическое изображение геологического строения какого-либо участка земной коры, нанесенного на топографическую основу определенного масштаба.

Различают два основных вида геологических карт: коренных отложений (пород) и четвертичных отложений.

В первом случае на карте отображаются горные породы дочетвертичного возраста, освобожденные от покрова четвертичных отложений. Только в тех местах, где коренные породы залегают очень глубоко, на карту наносят четвертичные образования.

На картах четвертичных отложений изображают породы четвертичного возраста, почти сплошным плащом покрывающие коренные образования (выделяются ледниковые отложения, лёссы, аллювий и др.).

Геологические карты коренных отложений составляются главным образом по возрастному признаку, т. е. на карту наносятся отложения определенного геологического возраста. Выделяются площади с отложениями кембрийского, силурийского, девонского возраста вне зависимости от того, какими породами они представлены. На картах крупного масштаба отложения того или иного периода (системы) разделяются на отложения эпох (отделов) и веков (ярусов).

Площади, занятые отложениями одного и того же периода, эпохи или века, обозначаются на карте международными буквенными обозначениями, определенным цветом или штриховкой. Легенда карты строится так, что молодые породы располагаются сверху, а древние — внизу.

Кроме временного признака при составлении карт можно использовать и литологический признак, учитывающий состав горных пород. На литологических картах вычерчиваются контуры территорий, занятых породами одного и того же состава (например, песками, глинами, глинами, песчаниками, известняками и т. д.) вне зависимости от геологического возраста.

Все виды геологических карт имеют важное практическое значение и широко используются при проектировании сети автомобильных дорог. Знакомство с данными, изображенными на геологической карте мелкого масштаба, позволяет получить ориентировочное представление о тех горных породах, которые залегают на поверхности и глубине той или иной местности. Если имеется крупномасштабная геологическая карта и к ней приложена объяснительная записка, то она позволяет более точно определить характер и свойства пород и условия их залегания, т. е.

получить данные, необходимые проектировщику и строителю при возведении различных сооружений.

При изысканиях под строительство автомобильных дорог на инженерно-геологических картах помимо чисто геологических данных наносят и другие сведения. Это дает возможность: 1) более правильно выбрать направление трассы; 2) ориентировочно судить об устойчивости инженерных сооружений (мостов, труб, земляного полотна и дорожных одежд; 3) оценить обеспеченность района строительства дорожно-строительными материалами.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Глава VIII

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРУНТАХ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

§ 1. Понятие о грунтах и их классификация

Грунтоведение является сравнительно молодой наукой, органически связанной с геологией и широко применяющей геологические методы изучения горных пород, методы почвоведения, коллоидной химии и строительной механики (механика грунтов), а также физико-химической механики дисперсных тел.

Объектом изучения в грунтоведении являются любые горные породы, входящие в состав коры выветривания, а также и почвы, которые приходится использовать в строительной практике. Преобладающее значение в дорожном грунтоведении получило изучение свойств пород, лишенных жестких связей (глинистых, песчаных, крупнообломочных), что объясняется следующими причинами.

1. Массивные прочные горные породы (скальные грунты) обладают жесткой связью между зернами и с инженерно-строительной точки зрения в большинстве случаев не вызывают опасений в отношении их устойчивости при осуществлении строительных мероприятий.

2. Рыхлые и глинистые породы, сформировавшиеся в процессе физического и химического выветривания и почвообразования, характеризуются отсутствием жесткой связи между зернами и большим разнообразием физико-механических свойств.

3. Они широко распространены в верхней части земной коры и служат основанием зданий, мостов, виадуков, а также являются материалом для возведения земляного полотна, плотин и других инженерных сооружений.

Следовательно, задачей грунтоведения является изучение верхней толщи земной коры — грунтов как объекта инженерно-строительной деятельности человека. Опираясь на естественноисторические знания и методы исследования, грунтоведение решает задачи, связанные с проведением инженерно-строительных работ, в том числе по строительству автомобильных дорог и аэродромов.

Всесторонне научно обоснованное изучение свойств рыхлых горных пород и в особенности почв, выяснение законов их формирования и постепенного изменения (эволюции) было начато в 80-х

годах прошлого столетия В. В. Докучаевым. Исследуя отложения четвертичного периода на территории нашей страны, он установил необходимость изучения всех природных явлений с точки зрения их происхождения (генезиса), взаимосвязи с окружающей природой и динамики развития.

Такой единственно правильный подход к научному познанию природы привел В. В. Докучаева к установлению качественно нового понятия о почве как особом естественноисторическом теле, резко отличающемся от рыхлых горных пород.

Как уже было отмечено, верхняя часть земной коры мощностью до 100 м и более представляет собой зону выветривания, обычно состоящую из рыхлых продуктов разрушения или обломков горных пород. В результате длительного воздействия климатических факторов (колебаний температуры, атмосферных осадков и др.) и органической жизни в различных условиях рельефа местности в течение геологической истории горные породы зоны выветривания на поверхности подвергаются сложным изменениям и переходят в особые качественно иные естественноисторические образования — почвы.

Почва живет, развивается и отмирает по своим, лишь ей присущим законам. Совокупная деятельность различных факторов почвообразования — климата, рельефа, растений, животных и т. п. — делает почвообразование весьма сложным физико-химическим и биологическим процессом, в результате которого бесплодный грунт постепенно обогащается органическими (гумусовыми) веществами и приобретает новое важное качество — плодородие.

Почвоведение, созданное В. В. Докучаевым и развитое его последователями, получило широкое применение не только в сельском хозяйстве, но и в строительстве.

Идеи В. В. Докучаева в вопросах изучения свойств и условий формирования грунтов, служащих материнской породой для образования почв, получили дальнейшее развитие в работах П. А. Земятченского, М. М. Филатова, В. В. Охотина и др. Труды этих ученых, интересовавшихся применением знаний о грунтах в различных инженерных целях, к началу 30-х годов нашего столетия была создана новая отрасль геологической науки — грунтоведение, которое в начальный период своего развития формировалось как дорожное грунтоведение.

В настоящее время развиваются и совершенствуются отдельные разделы грунтоведения: физика, химия, механика и методы укрепления грунтов. Развитие этих отраслей грунтоведения связано с работами М. М. Филатова, Н. Н. Иванова, В. В. Охотина, Н. А. Цытовича, Е. М. Сергеева, А. К. Бируля, В. М. Безрука, С. С. Морозова, Б. М. Гуменского и др.

Изучение законов формирования почв, их свойств и распределения на территории СССР с точки зрения их инженерного использования особенно необходимо для дорожного и аэродромного строительства, при которых широко применяется почвенный покров как местный строительный материал.

Исходя из изложенного, можно дать следующее определение понятия о грунтах.

Грунт — это любая горная порода или почва (а также твердые обломочные отходы производственной и хозяйственной деятельности человека), представляющие собой многокомпонентную систему, изменяющуюся во времени, и используемые как основание, среда или материал для возведения инженерных сооружений, в том числе автомобильных, железных дорог и аэродромов.

В соответствии с Государственным стандартом СССР (ГОСТ) 25100—82 в целях правильного использования свойств и особенностей различных грунтов и унификации их определений при инженерно-геологических изысканиях, проектировании и строительстве инженерных сооружений грунты классифицируются с учетом их наиболее важных признаков.

По характеру структурных связей грунты разделяются на два класса: 1) с жесткими (кристаллизационными или цементационными) структурными связями — скальные грунты; 2) без жестких структурных связей — нескальные грунты.

В каждом из классов выделяются: группы и подгруппы грунтов — по условию их происхождения (генезиса); типы — по петрографическому, минеральному и гранулометрическому составу, степени неоднородности и числу пластичности; виды — по структуре, плотности и другим признакам; разновидности — по физико-механическим, физическим и химическим свойствам и состоянию.

Класс скальных грунтов подразделяется на группы магматических, метаморфических, осадочных цементированных и искусственных цементированных (укрепленных) грунтов.

Нескальные грунты используются в дорожном строительстве более часто и в значительных объемах, поэтому они рассматриваются подробнее.

Класс нескальных грунтов подразделяется на две группы: осадочных нецементированных и искусственных нецементированных грунтов. Первая группа подразделяется на подгруппы: 1) крупнообломочных, 2) обломочных, песчаных; 3) обломочных пылеватых и глинистых, в том числе лёссовых и илистых грунтов. Более подробное разделение указанных подгрупп грунтов приводится в табл. 4 и 5.

В четвертую подгруппу нескальных грунтов входят биогенные отложения, включающие сапропели, заторфованные песчаные или пылевато-глинистые грунты и торфы, содержащие неполностью разложившиеся отмершие болотные растения. В пятую подгруппу входят почвы различного генезиса и гранулометрического состава. Более подробная классификация почв и их характеристика дается в главе XIII.

Во второй группе грунтов рассматриваемого класса выделяют три подгруппы искусственных грунтов: 1) уплотненные в природном залегании; 2) насыпные и 3) намывные. Грунты каждой из этих подгрупп могут характеризоваться различным грану-

лометрическим и химическим составом и часто являются материалами, укрепляемыми различными вяжущими веществами и используемыми для устройства конструктивных слоев дорожных одежд.

§ 2. Главнейшие минералы, входящие в состав грунтов

Минеральный состав оказывает значительное влияние на устойчивость грунта в инженерных сооружениях. Он резко изменяется в зависимости от исходного состава горной породы, степени ее дробления, условий формирования и залегания. Крупнообломочные грунты сложены частицами наиболее стойких и прочных горных пород, состоящих обычно из групп минералов. С увеличением степени раздробленности, частицы грунта оказываются состоящими из отдельных стойких минералов, например кварца. Преобладание кварца наиболее характерно для песчаных грунтов. В глинистых грунтах минеральный состав существенно изменяется. Наряду с минералами, указанными в главе II, при дальнейшем увеличении степени раздробленности в наиболее тонкой глинистой части грунтов накапливаются вторичные, так называемые глинистые минералы.

Глинистые минералы представляют собой продукт химического изменения первичных минералов: полевых шпатов, слюд и др. Они придают грунтам совершенно новые физико-механические свойства.

Особо следует остановиться на глинистых минералах высокой степени раздробленности (размер частиц глинистых минералов обычно не превышает 0,001 мм), которые придают различные свойства глинистым грунтам. По совокупности признаков многочисленные глинистые (коллоидно-дисперсные) минералы разделяют на три основные группы: каолинита, гидрослюды и монтмориллонита.

Каолинит — относительно стойкий минерал, содержащийся в довольно большом количестве во многих глинистых грунтах. По сравнению с другими глинистыми минералами каолинит обладает небольшой набухаемостью при смачивании водой и малой способностью к поглощению (адсорбции на поверхности) различных веществ.

Монтмориллонит в отличие от каолинита характеризуется более высокой дисперсностью (раздробленностью) частиц, чрезвычайно большой пластичностью и способностью в 10—20 раз увеличивать объем при увлажнении, а также рядом других особенностей. Наличие в грунтах (например, солонцеватых) большого количества монтмориллонита придает им при увлажнении резко выраженные отрицательные свойства: чрезмерную липкость, сильное набухание и отсюда быструю потерю несущей способности. Размеры минералов монтмориллонита крайне незначительны и, как правило, не превышают 1 мкм.

Гидрослюды по своим свойствам занимают промежуточное положение между каолинитом и монтмориллонитом.

Карбонаты в грунтах представлены преимущественно кальцитом и доломитом. Наличие их в глинистых грунтах обуславливает меньшую смачиваемость водой и способствует улучшению других свойств.

Водорастворимые минералы. К легкорастворимым в воде минералам, встречающимся в грунтах различного состава, относятся галит NaCl , сильвин KCl , мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, или глауберова соль, сода Na_2CO_3 , кизерит $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и др. К среднерастворимым в воде минералам относятся гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и ангидрит CaSO_4 . Эти минералы ввиду их растворимости встречаются в грунтах преимущественно в зоне сухого и жаркого климата. Они представляют собой соли соляной, серной и угольной кислот. При содержании в грунтах легкорастворимых солей более 7% по массе и среднерастворимых солей более 10% по массе грунты отличаются пониженными значениями показателей физико-механических свойств. Поэтому такие грунты не рекомендуется применять для устройства земляного полотна или подвергать их укреплению добавками различных вяжущих веществ.

§ 3. Коллоиды в грунтах, их состав и свойства

В настоящее время доказано, что всякое вещество при известных условиях может находиться в коллоидном состоянии и проявлять свойства коллоидов. Особенностью коллоидного состояния является наличие большой поверхности раздела между частицами тонко раздробленного вещества и окружающей средой.

Убедиться в этом нетрудно. Если из куска какого-либо вещества вытесать кубик с длиной ребра 1 см, то поверхность всех граней такого кубика будет составлять 6 см². Разрежем этот кубик таким образом, чтобы ребро каждого нового кубика было в четыре раза меньше, чем у исходного, т. е. 0,25 см. Легко подсчитать, что при этом из прежнего кубика получится 64 новых кубика, но меньшего размера. Общая же суммарная поверхность S их будет $0,25 \times 6 \times 64 = 96$ см², т. е. увеличится в 16 раз. Так же будет расти поверхность и при дальнейшем делении кубика. Например, при длине ребра кубика 0,1 см, суммарная поверхность S составит: $0,1 \times 6 \times 1000 = 600$ см². Когда раздробление достигает величины 0,0001 см и менее, то суммарная поверхность 1 см³ вещества будет исчисляться десятками и сотнями квадратных метров.

При тончайшем раздроблении вещества, когда суммарная поверхность достигает громадной величины, она начинает играть доминирующую роль в поведении этого вещества, которое начинает проявлять свойства коллоида.

Если растворить в стеклянном сосуде обычную поваренную соль, то получится прозрачный истинный раствор, который (если

вода не будет испаряться) будет сохранять прозрачность, и соль не выпадает в осадок. Выделить соль, находящуюся в растворе, механическим путем (например, фильтрованием) невозможно.

Если мы возьмем кусок жирной глины, разотрем его с водой до состояния полужидкого теста, а затем перенесем в такой же сосуд и энергично взмутим с большим количеством дистиллированной воды, то получим взвесь, или суспензию глины в воде. Через некоторое время на дне сосуда появится осадок, нижняя часть которого будет состоять из наиболее крупных песчаных и пылеватых частиц. С течением времени этот осадок будет увеличиваться в объеме. Однако даже через очень продолжительный срок часть мельчайших частиц не осядет и останется в взвешенном состоянии в виде мути. Если пропустить эту муть через бумажный фильтр, то на нем задержатся лишь наиболее грубые частицы, а основная масса мути, представляющая собой коллоидные частицы, будет проходить через фильтр, не задерживаясь.

Таким образом, коллоиды — это тела, по размеру превышающие отдельные молекулы вещества, но вместе с тем они во много раз меньше частиц, способных осаждаться в воде под действием силы тяжести. Степень раздробления коллоидов обычно колеблется в пределах 0,0002—0,00001 мм.

Коллоидные частицы отделены от окружающей среды определенной поверхностью (поверхностью раздела). Существование поверхности раздела — основное отличие коллоидных систем от истинных растворов.

Исследование молекулярного строения вещества показывает, что все молекулы или атомы любого твердого или жидкого тела, находящиеся на его поверхности, имеют некоторую избыточную энергию в связи с тем, что силы взаимного притяжения таких молекул не израсходованы полностью на молекулярное сцепление. По этой причине молекулы поверхностного слоя способны совершать очень большую работу за счет использования избыточной молекулярной энергии.

Молекулы, лежащие в поверхностном слое, способны притягивать из окружающей среды и порой очень прочно удерживать молекулы, а иногда и коллоидные частицы других веществ. Это явление поглощения поверхностью называют адсорбцией.

Чем больше поверхность вещества, тем больше будет адсорбироваться ею молекулы других веществ. Поэтому коллоиды и тонко раздробленные вещества, частицы которых приближаются по размерам к коллоидным, например частицы глинистых грунтов, обладают ярко выраженной способностью к поглощению или адсорбции.

Таким образом, тончайшее раздробление, наличие огромной суммарной поверхности в небольшом объеме вещества и способность к поглощению (адсорбция) других веществ в поверхностном слое являются существенными признаками коллоидных систем.

Одной из наиболее важных особенностей коллоидных частиц является то, что они несут электрический заряд. Это

играет большую роль при формировании грунтов и в значительной степени определяет разнообразие их свойств.

Откуда у коллоидных частиц электрический заряд? Причиной первоначального заряда коллоидных частиц является их способность к поглощению вещества из истинных растворов. В природе существует много растворимых веществ, молекулы которых при растворении распадаются на электрически заряженные частицы — ионы. Например, молекулы поваренной соли, состоящие из атома натрия и атома хлора, при растворении распадаются на положительно заряженные ионы (катионы) натрия и отрицательно заряженные ионы (анионы) хлора.

При образовании коллоидных систем всегда, хотя и в небольших количествах, в окружающей среде присутствуют те или иные электролиты. При поглощении их поверхностью коллоидных частиц отдельные ионы придают частицам соответствующий электрический заряд. Таким образом, коллоидная частица является не просто крупинкой или капелькой какого-либо вещества, а представляет собой сложную систему.

Большинство грунтовых частиц в естественном состоянии заряжено отрицательно. Отрицательный заряд грунтовых частиц объясняется присутствием на их поверхности анионов, входящих в их кристаллические решетки. При отрицательном заряде частицы (мицеллы) она окружается слоем катионов. Отрицательно заряженная частица и окружающие ее катионы образуют двойной электрический слой.

Чем больше заряд частиц, тем устойчивее коллоидная система. Как только частицы теряют свой заряд и становятся нейтральными, окружающие их водные оболочки разрушаются, частицы собираются в хлопья и выделяются из раствора, коллоидная система разрушается. Процесс, связанный с потерей электрического заряда и слиянием отдельных частиц в хлопья называется коагуляцией. Часто коагуляция происходит в результате повышения концентрации электролитов в окружающем частицы растворе, так как при этом уменьшается толщина уплотненных оболочек вокруг коллоидных частиц и частицы легко слипаются.

Повышение заряда коллоидной системы делает ее более устойчивой и приводит к явлению, противоположному коагуляции. Процесс разъединения, распыления коллоидных частиц, свернувших в хлопья, носит название пептизации.

Процессы пептизации и коагуляции коллоидных веществ широко распространены в толще грунтов и приводят к выносу вещества из одних мест и накоплению их в других. Изучение этих процессов позволяет не только раскрыть истинную историю формирования грунтов, но, что особенно важно, помогает осуществлять коренное изменение свойств грунтов в желательном для строительства направлении.

Чаще всего в грунтах в коллоидном состоянии находятся кремниевая кислота, гидраты окиси железа и алюминия, гумусовые вещества и глинистые минералы.

Кремнекислота. В связи с преобладающим содержанием кремния (в виде простых и сложных силикатов и алюмосиликатов) в современной коре выветривания кремневая кислота в коллоидном состоянии может находиться во многих грунтах. Гели кремневой кислоты относятся к ненабухающим и при высушивании уменьшаются в объеме только до известной степени. При повторном насыщении водой гель кремневой кислоты не набухает. В большинстве случаев коллоиды кремнекислоты в грунтах несут отрицательный заряд.

Гидраты окиси железа и алюминия. Их коллоиды широко распространены в природе. Обогащение ими грунтов происходит в результате гидратации продуктов химического выветривания железосодержащих минералов. Так, например, образуется минерал лимонит, или бурый железняк $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, постоянно встречающийся в составе грунтов.

Характерным свойством коллоидных частиц гидратов окиси железа и алюминия является их способность в известных условиях нести заряды противоположных знаков (перезаряжаться). Так, в кислой среде коллоиды гидратов окиси железа заряжаются положительно, а в щелочной — отрицательно.

Гумус. Наличие в грунтах гумусовых веществ в коллоидном состоянии резко влияет на их свойства, важные для строителя. Это связано с их способностью связывать большое количество воды, что обуславливает увеличение набухания грунтов. Песчаным грунтам наличие гумуса придает некоторую связность.

Коллоиды гумуса заряжены отрицательно и по этой причине коагулируют (свертываются) в присутствии положительно заряженных ионов. Наоборот, добавление щелочей (действие отрицательного иона гидроксила — OH) вызывает переход их в золи. Старение гумусовых веществ, насыщенных поглощенными катионами кальция, например в черноземе, способствует образованию зернистой структуры грунта.

Глинисто-коллоидная часть. Наиболее тонко раздробленная (дисперсная) часть грунтов обогащена глинистыми минералами: каолинитом, монтмориллонитом, гидрослюдой и др. При приближении степени измельчения к размерам менее $0,1 \text{ мкм}$ эта наиболее активная часть грунта приобретает характерные свойства, присущие коллоидному состоянию вещества: способность к набуханию, коагуляции, ионному обмену, поглощению и т. п.

Чаще всего глинистые минералы заряжены отрицательно и при обычных температурах их коллоиды обратимы, но при более высоких температурах они переходят в необратимое состояние, т. е. теряют способность к поглощению воды, набуханию и переходу в состояние золя.

§ 4. Поглотительная способность грунтов

Одной из наиболее характерных особенностей грунтов, содержащих тонкодисперсные частицы, является их способность поглощать другие вещества из окружающего раствора. При этом

задерживаются не только растворенные, но и взмученные в воде вещества, приходящие в соприкосновении с частицами.

Тонкодисперсная часть грунтов, обладающая поглотительной способностью, тесно связана с поверхностью более крупных частиц грунта и не может быть отделена от них механически.

В природе грунтовые частицы с чистыми поверхностями почти не встречаются. Обычно отдельные более крупные частицы или микроагрегаты из более мелких частиц как бы покрыты пленкой различных коллоидов. Отделить эти пленки, не нарушая при этом целостности и физических свойств частиц грунта, невозможно.

По этой причине коллоидные вещества, распределяясь равномерно по всей массе грунта, соединяются с более крупными частицами и придают ему свойства, присущие коллоидным системам. Чем выше содержание глинистых частиц в грунте, тем большее влияние оказывают эти особенности на физические, механические, физико-химические и химические свойства грунтов.

В зависимости от способа поглощения веществ из растворов советский ученый академик К. К. Гедройц выделил следующие виды поглотительной способности грунтов: 1) механическую, 2) физическую, 3) физико-химическую, 4) химическую, 5) биологическую.

Механическая поглотительная способность связана с пористостью грунта и выражается в его способности задерживать при фильтрации частицы, взмученные в воде. При этом задерживаются не только частицы, размер которых превышает диаметр пор, но и более тонкие, попавшие в замкнутые или искривленные поры. Как указывает М. М. Филатов, механическое поглощение играет важную роль в заиливании пористых водопроницаемых грунтов, например песка в основании дорожных одежд.

Физическая поглотительная способность грунтов связана с наличием свободной энергии на поверхности соприкосновения их частиц с водой или водными растворами и с явлениями поверхностного натяжения. Она выражается в увеличении или, наоборот, уменьшении концентрации на поверхности грунтовых частиц молекул различных соединений, растворенных в воде. При этом происходит уменьшение свободной поверхности энергии дисперсной системы. В результате физического поглощения на поверхности грунтовых частиц образуются адсорбционные пленки из молекул, поглощенных из раствора, свойства которых в значительной мере влияют на устойчивость грунта в целом.

Физическое поглощение органических соединений из битумных или дегтевых материалов придает грунтам несмачиваемость водой (гидрофобность) и вызывает повышение их связности.

Физико-химическая, или обменная, поглотительная способность имеет особенно важное значение. В результате ее проявления грунт резко меняет химические, физические и механические свойства. Обменная способность заключается в том, что грунты обладают свойством обменивать в эквивалентных соотношениях поглощенные на поверхности тонких частиц катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} ,

Na⁺ и др.) на катионы растворов, приходящих с ними в соприкосновение. Этот процесс катионного обмена широко распространен в природных условиях и приводит к резкому изменению физико-механических свойств грунтов в зависимости от состава веществ, находящихся в грунтовом растворе. Физико-химическое поглощение играет исключительно важную роль при решении вопросов, связанных с укреплением грунтов различными веществами (рис. 19).

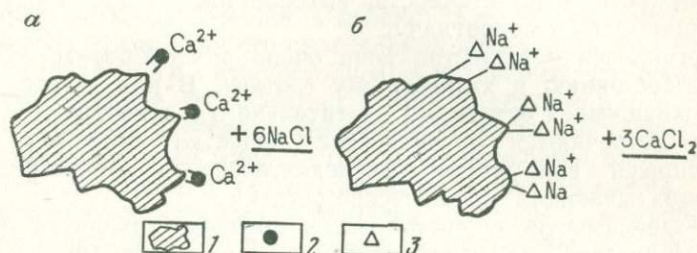


Рис. 19. Физико-химический обмен в грунтах:

α — поглощенный кальций; β — поглощенный натрий. 1 — коллоидная частица; 2 — катионы кальция; 3 — катионы натрия

Минеральная и органическая части грунтов содержат вполне определенное число катионов, способных к подобному обмену. Их сумму, выраженную в эквивалентах какого-либо катиона, называют емкостью обмена. Приведем примеры влияния обменной поглотительной способности грунтов на их свойства.

Если в грунтах имеются обменные катионы щелочных металлов Na⁺, K⁺, то при избытке влажности растворы приобретают щелочную реакцию. В этих условиях отрицательно заряженные коллоиды, чаще всего присутствующие в грунтах, как бы стабилизируются в состоянии золя, становятся более устойчивыми. Так, солонцы, т. е. почвы, содержащие обменный натрий, при увлажнении быстро размокают, делаются липкими, теряют несущую способность, сильно набухают и т. п. Налицо резкое изменение физических свойств в худшую сторону.

В грунтах, насыщенных двухвалентными катионами Ca²⁺, Mg²⁺, например в лёссах и типичных черноземах, коллоиды наоборот находятся в свернутом (коагулированном) состоянии и трудно переходят в состояние золя.

Химическая поглотительная способность выражается в поглощении растворимых веществ из раствора с образованием в грунтах нерастворимых или малорастворимых солей, что играет большую роль при их укреплении цементами, известью или другими веществами.

Биологическая поглотительная способность приводит к обогащению грунта (почвы) веществами, накапливаемыми в процессе жизнедеятельности макро- и микроорганизмов. Биологическое поглощение является важнейшим элементом почвообразовательного процесса и оказывает большое (преимущественно отрицательное) влияние на свойства грунта, важные для строителей. В этом слу-

чае глинистые грунты сильно набухают и становятся практически водонепроницаемыми.

§ 5. Состав органической части грунтов

Органические вещества являются существенной и неотъемлемой частью почвы. При этом некоторые их свойства часто отрицательно сказываются при использовании почвы в строительных целях.

Наличие органических веществ придает грунту чрезмерную влагоемкость и пластичность, сильное набухание, плохую водопроницаемость и водоотдачу.

Органические вещества почв очень разнообразны по физическому состоянию и химическому составу. В них наряду с мало-разложившимися остатками растительного и животного происхождения встречаются органические вещества сложного состава, являющиеся продуктами жизнедеятельности микроорганизмов, перерабатывающих органические остатки.

В зависимости от состояния, в котором находятся органические вещества, они носят название торфа или гумуса. Торф представляет собою грубую полуразложившуюся в условиях повышенной влажности массу остатков болотных растений, в которых в зависимости от степени разложения иногда можно различить строение веществ, послуживших продуктами его образования. Гумусом называют сложный комплекс органико-минеральных соединений почвы, образовавшийся в результате сложных биохимических превращений, связанных с жизнедеятельностью различных микроорганизмов. В состав гумуса в основном входят углерод, кислород, водород и азот, сочетания которых и дают различные органические вещества.

Создание и разрушение органического вещества — это основа процесса почвообразования. В природе можно выделить два пути биологического распада и последующего синтеза гумусовых веществ: аэробный процесс, протекающий при свободном доступе кислорода воздуха, и анаэробный — без доступа кислорода. В условиях избыточного увлажнения последний приводит к накоплению торфа.

В результате этих процессов в почве накапливаются следующие органические соединения сложного химического состава: 1) ульминовая кислота, являющаяся продуктом анаэробного превращения органического вещества. Она хорошо растворима в воде и образует истинные растворы; 2) гуминовая кислота, образующаяся при аэробном бактериальном превращении органического вещества; имеет черный цвет. Ее соли щелочноземельных металлов, железа и алюминия в воде нерастворимы; 3) креновая кислота, образующаяся при разложении остатков древесных растений под влиянием грибов и имеющая резко выраженную кислую реакцию; легко растворяется в воде.

Наличие в грунтах органических веществ в количестве более 2% по массе, особенно кислого типа, оказывает отрицательное действие при укреплении грунтов цементами.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГРУНТОВ

§ 1. Понятие о гранулометрическом составе и свойствах частиц грунта

Гранулометрическим составом грунта называют относительное содержание групп частиц или фракций грунта различной крупности, выраженное в процентах от общей массы абсолютно сухого грунта. Для его определения проводится гранулометрический анализ, состоящий в разделении навески грунта на составляющие его фракции частиц и обломков (от самых крупных, размером в десятки миллиметров, до очень мелких, размером в тысячные доли миллиметра) и последующем определении процентного содержания каждой фракции к массе навески.

Гранулометрический состав является одной из важнейших характеристик грунта, имеющей весьма существенное значение для оценки его физико-механических свойств при использовании в качестве основания, среды и материала при строительстве дорог.

В дорожной классификации принято делить частицы грунтов на гравийную, песчаную, пылеватую и глинистую фракции.

Гравийные частицы (размер 70—2 мм) представляют собой окатанные обломки горных пород, различных по минеральному и химическому составу. Водопроницаемость этой фракции очень велика (более 100 м/сут); капиллярность отсутствует. Гравийные частицы, присутствующие в грунте в количестве более 30%, придают ему прочность и устойчивость.

Песчаные частицы (размер 2—0,05 мм) в большинстве случаев представляют собой обломки кварца, полевых шпатов и других минералов. Они не обладают связностью и не набухают в воде. Водопроницаемость этой фракции значительна, а капиллярное поднятие, наоборот, невелико. Усадка, пластичность и липкость отсутствуют.

Пылеватые частицы (размер 0,05—0,001 мм) по минеральному составу представляют собой преимущественно чистый кварц, реже полевые шпаты и другие минералы. Мелкие пылеватые частицы обычно состоят из кварца или аморфной кремневой кислоты. Пылеватые частицы характеризуются крайне слабой связностью, в воде не набухают или набухают весьма незначительно. Они способны в короткое время по капиллярам поднимать воду на высоту до 3 м. Отличаются от песчаных частиц способностью легко переходить в пльвунное состояние. Водопроницаемость этой фракции крайне незначительна.

Глинистые частицы (размер менее 0,001 мм) являются наиболее активной частью грунта и представляют собой смесь минералов каолинита, монтмориллонита, гидратов окисей железа и марганца, кварца, а также тонких частичек гумусовых веществ. Глинистые частицы практически водонепроницаемы, обладают

большой влагоемкостью и сильно набухают в воде. В отличие от более крупных фракций глинистые частицы в сухом состоянии обладают большой связностью. Пластичность, липкость, набухание и водоудерживающая способность глинистых частиц, так же как и коагуляция, проявляются в очень сильной степени под действием растворов различных солей. Глинистые частицы способны к поглощению, особенно физико-химическому (адсорбции) различных веществ из растворов, в том числе и коллоидных.

§ 2. Классификация грунтов по гранулометрическому составу с учетом их пластичности

Наиболее совершенными классификациями грунтов по гранулометрическому составу являются трех- или четырехчленные, основанные на учете соотношения в их составе трех (песчаной, пылевой и глинистой) или четырех (гравийной, песчаной, пылевой и глинистой) фракций.

В настоящее время при проектировании и строительстве автомобильных дорог используются гранулометрической классификацией с разделением несцементированных грунтов, лишенных жестких связей между частицами, на крупнообломочные, обломочные песчаные и обломочные пылеватые и глинистые.

В зависимости от размеров частиц, их содержания и свойств указанные грунты в развитии ГОСТ 25100—82 (Грунты. Классификация) разделяют на типы в соответствии с требованиями, представленными в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Типы крупнообломочных и песчаных грунтов и их использование в дорожном строительстве

Грунт	Содержание частиц в процентах от массы сухого грунта	Пригодность грунтов для дорожного строительства	
		при сооружении земляного полотна	при укреплении вяжущими материалами
<i>Крупно-обломочный</i>			
Грунт глыбовый (валунный)	Камней крупнее 200 мм, более 50	Непригоден	Непригоден
Грунт щебеннистый (галечниковый)	Частиц крупнее 10 мм, более 50	Весьма пригоден	Частицы менее 50 мм используют как гранулометрическую добавку
Грунт дресвяной (гравийный)	Частиц крупнее 2 мм, более 50	То же	Весьма пригоден при разнозернистом составе частиц и отсутствии частиц крупнее 25 мм
<i>Песчаный</i>			
Песок гравелистый	Частиц крупнее 2 мм, более 25	Весьма пригоден	Весьма пригоден для укрепления цементом при разнозернистом составе частиц или как гранулометрическая добавка к глинистым грунтам

Грунт	Содержание частиц в процентах от массы сухого грунта	Пригодность грунтов для дорожного строительства	
		при сооружении земляного полотна	при укреплении вяжущими материалами
Песок крупный	Частиц крупнее 0,5 мм, более 50	Пригоден	Весьма пригоден для укрепления цементом или битумной эмульсией при разнозернистом составе частиц или как гранулометрическая добавка к глинистым грунтам
Песок средней крупности	Частиц крупнее 0,25 мм, более 50	То же	Пригоден, но менее устойчив в земляном полотне, чем крупные и средние пески
Песок мелкий	Частиц крупнее 0,1 мм, более 75	Пригоден, но менее устойчив в земляном полотне, чем крупные и средние пески	Пригоден для укрепления цементом или битумной эмульсией при разнозернистом составе частиц
Песок пылеватый	Частиц крупнее 0,1 мм, менее 75	Малопригоден	То же

Примечание. 1. Для крупнообломочных грунтов в скобках дано название по преобладанию окатанных обломков. 2. Для установления вида грунта последовательно суммируют проценты содержания частиц исследуемого грунта: сначала крупнее 10 мм, затем крупнее 2 мм, 0,5 мм и т. д. Наименование грунта принимают по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в таблице.

Таблица 5

Типы и виды глинистых грунтов и их использование в дорожном строительстве

Грунт	Число пластичности, %	Содержание песчаных частиц в процентах от массы сухого грунта	Вид грунта	Пригодность грунта для дорожного строительства	
				при сооружении земляного полотна	при укреплении вяжущими материалами
Супесь	1—7	> 50	Легкая, крупная	Весьма пригоден	Весьма пригоден
	1—7	> 50	Легкая	Пригоден	То же
	1—7	20—50	Пылеватая	Малопригоден	Пригоден
	1—7	< 20	Тяжелая, пылеватая	Непригоден	Малопригоден
Суглинок	7—12	> 40	Легкий	Пригоден	Пригоден
	7—12	< 40	Легкий, пылеватый	Малопригоден	То же
	12—17	> 40	Тяжелый	Пригоден	Пригоден с ограничениями
	12—17	< 40	Тяжелый, пылеватый	Малопригоден	То же
Глина	17—27	> 40	Песчанистая	Пригоден	Малопригоден
	17—27	< 40	Пылеватая (полужирная)	Малопригоден	То же
	> 27	Не нормируется	Жирная	Малопригоден	Непригоден

Примечания. 1. При содержании частиц крупнее 2 мм в количестве 20—50% наименование грунта дополняется словом «гравелистый» при окатанных частицах и «щебенистый» при островерных неокатанных частицах.

2. Содержание песчаных частиц размером 2—0,25 мм указывается для супесей легких, крупных, размером 2,0—0,05 мм для остальных разновидностей грунтов

Крупнообломочные и песчаные грунты характеризуются отсутствием связности. Они сыпучи в сухом состоянии, и не обладают пластичностью при увлажнении. Число пластичности этих грунтов менее 1.

Глинистые и пылеватые (в том числе лёссовые) грунты делят также на типы, но при этом в соответствии с предложенной автором классификацией учитывают численные значения двух показателей: 1) содержания песчаных и гравийных частиц в данном грунте и 2) числа пластичности.

Крупнообломочные и обломочные песчаные грунты характеризуются хорошей водопроницаемостью, отсутствием капиллярности или очень малыми ее значениями. Их применяют в качестве дренирующего материала в подстилающих слоях, гранулометрических добавок или заполнителей в цементном или асфальтовом бетоне (если они соответствуют техническим требованиям).

Пески пылеватые в сухом состоянии также несвязны. При увлажнении они переходят в пльвинное состояние; как дренирующий материал малопригодны.

Супеси легкие характеризуются относительно благоприятными свойствами при использовании их в качестве материала проезжей части грунтовых дорог и в основаниях дорожных покрытий. Они малопластичны и непластичны. В сухом состоянии обладают достаточной связностью, пылеобразование незначительно. Быстро просыхают, не набухают и не обладают липкостью. Эти грунты устойчивы в сухом и во влажном состоянии, так как сочетают положительные стороны песчаных (большое внутреннее трение и хорошую водопроницаемость) и глинистых (связность в сухом состоянии) частиц.

Супеси пылеватые характеризуются преобладанием пылеватых частиц. В сухом состоянии они малосвязны и сильно пылят; при увлажнении быстро размокают и переходят в пльвинное состояние. Довольно быстро и на большую высоту поднимают капиллярную воду (до 3 м), что в ряде случаев способствует пучению на дорогах. Обладают малой пластичностью и плохой водопроницаемостью. В дорожном отношении это весьма неблагоприятные грунты, особенно супеси тяжелые пылеватые. К этой группе грунтов относятся также некоторые виды лёссов.

Суглинки легкие отличаются связностью и незначительной водопроницаемостью. Пластичность, липкость, набухание и капиллярные свойства проявляются в заметной степени, особенно с увеличением содержания глинистых частиц.

Тяжелые суглинки в сухом состоянии обладают значительной связностью и плотностью, трудно поддаются разработке. Медленно просыхают после увлажнения и обладают ничтожной водопроницаемостью. Пластичность, липкость, набухание, влагоемкость и капиллярные свойства резко выражены.

Суглинки легкие пылеватые и тяжелые пылеватые по свойствам близки к тяжелым суглинкам. Большая высота

капиллярного поднятия воды и способность переходить в пльвунное состояние при увлажнении (при небольшом содержании глинистых частиц) обуславливают весьма неудовлетворительные свойства этих грунтов при использовании в дорожных сооружениях.

Глины часто отличаются большой плотностью и связностью; они практически водонепроницаемы и трудно поддаются разработке. Обладают большой пластичностью, липкостью и набуханием. Капиллярные свойства выражены в меньшей степени, чем в суглинистых и пылеватых грунтах. В основаниях дорожных покрытий при плохом водоотводе глины обладают малой несущей способностью, т. е. недостаточно устойчивы под нагрузкой. При насыщении водой удерживают ее длительное время. В дорожном полотне при условии надлежащего уплотнения и хорошего водоотвода характеризуются удовлетворительной устойчивостью.

Гранулометрический состав грунтов — очень важный, но не единственный признак, по которому можно окончательно судить об их устойчивости в дорожных сооружениях. Для более полной и правильной оценки свойств грунтов необходимо также учитывать их гёнезис, минеральный и химический состав, пластичность, физическое состояние (плотность и консистенцию грунта) и другие особенности.

§ 3. Принципы определения гранулометрического состава грунтов

В настоящее время в практике лабораторных испытаний имеется ряд методов для определения гранулометрического состава грунтов, основанных на различных принципах. Ниже описываются лишь те, которые наиболее широко используются в дорожно-строительных лабораториях.

Ситовой метод состоит в разделении обломков и частиц грунта по крупности путем просеивания его через набор сит с отверстиями разного диаметра. Остатки на ситах взвешивают и вычисляют их процентное отношение к массе навески грунта. Этот метод применяется лишь для определения содержания частиц различного размера крупнее 0,1 или 0,07 мм, т. е. для определения гранулометрического состава крупнообломочных и обломочных песчаных грунтов.

Метод отмучивания основан на учете скорости падения частиц в спокойной воде после их взмучивания, поскольку крупные частицы осаждаются в воде быстрее, чем мелкие. Наибольшее распространение получил метод отмучивания, разработанный А. Н. Сабаниным. В мелких песчаных и супесчаных грунтах им выделяют следующие фракции частиц (в мм): 0,25—0,05; 0,05—0,01; менее 0,01.

Для грунтов со значительным содержанием глинистых частиц метод отмучивания применяют очень редко ввиду ничтожно малой скорости оседания этих частиц.

Метод отбора проб суспензии пипеткой (пипеточный метод) также основан на учете скорости падения частиц в спокойной

воде. В этом случае приготовленную суспензию взмучивают и оставляют в покое на некоторое время, после чего пипеткой (емкостью 20—30 см³) отбирают с определенной глубины пробу суспензии. Такая проба содержит частицы, которые не успели осесть за время отстаивания. При следующих пробах, взятых пипеткой через большие промежутки времени с начала отстаивания суспензии, получают более мелкие частицы. Определив массу высушенных проб и зная размер отобранных частиц (вычисляемый по длительности отстаивания суспензии и глубине отбора проб), после пересчета получим данные о содержании частиц этого размера во всем объеме суспензии.

Ареометрический метод, так же как и пипеточный, основан на учете скорости падения частиц в спокойной воде после взмучивания пробы грунта в стеклянном цилиндре емкостью 1 л и диаметром 60 мм. При этом методе через определенные промежутки времени после взмучивания пробы грунта плотность отстаиваемой суспензии измеряют специальным оттарированным ареометром (со шкалой 0,995—1,030 и ценой деления 0,001), погружаемым в мерный цилиндр с суспензией грунта. Плотность, измеренная ареометром, зависит от содержания в суспензии взвешенных твердых частиц. Чем их больше, тем выше плотность суспензии. Получив значения убывающей плотности через определенные промежутки времени с помощью расчетных формул или номограмм, вычисляют содержание в грунте частиц определенной крупности, соответствующей времени взятия отсчета.

Пипеточный и ареометрический методы пригодны для гранулометрического анализа глинистых грунтов. Они просты и надежны, теоретически обоснованы и выполняются с помощью простой аппаратуры. Однако в этих методах много условностей, и результаты определения существенно зависят от подготовки пробы к анализу, температуры воды и других факторов. К тому же указанные методы не дают возможности учесть влияние минерального состава и формы частиц грунта, что является их существенным недостатком.

В связи с этим определение степени глинистости грунта и отнесение его к тому или иному типу и виду в соответствии с ГОСТ 25100—82 производят по данным определения числа пластичности (см. табл. 5). Методика определения границ и числа пластичности описана в гл. X.

По ГОСТ 12536—79 основными методами определения гранулометрического состава грунтов являются ситовой для анализа крупнообломочных и обломочных песчаных, и ареометрический и пипеточный — для анализа глинистых грунтов.

§ 4. Определение гранулометрического состава лабораторными и полевыми методами

Ситовой метод применяется при разделении на фракции несвязных, крупнообломочных и песчаных грунтов, с небольшим содержанием пылеватых и глинистых частиц. Перед анализом образец

грунта высушивают до воздушно-сухого состояния и берут среднюю пробу, масса которой в зависимости от крупности частиц грунта может быть принята: для мелко- и среднезернистых песков 100 г, для крупнозернистых 500 г; при содержании в грунте гравийных частиц более 10% масса навески составляет 1000—2000 г.

Если в грунте не содержится комочков глины, сцементированных и малопрочных частиц, взятую пробу взвешивают, растирают резиновым пестиком и пропускают через набор сит с поддоном и отверстиями 40, 20, 10, 5 и 2 мм. Остатки на ситах взвешивают и определяют их процентное содержание. При сильном загрязнении гравийных частиц остатки на ситах крупнее 2 мм промывают водой.

Часть песка, прошедшего через сито с отверстиями 2 мм, промывают на сите с отверстиями 0,15 или 0,074 мм до полного удаления глинистых и пылеватых частиц, и оставшийся на сите песок высушивают. Высушенные фракции песка пропускают через набор сит с отверстиями 1,0; 0,5; 0,25; 0,15; 0,1 мм; затем их взвешивают и массу выражают в процентах к массе взятой навески. Пробы гравелистых песков и крупнообломочных грунтов вначале пропускают через набор сит с отверстиями 40; 25; 20; 15; 10; 5 и 2 мм.

Если анализу подвергают пробы грунтов, содержащие пылевато-глинистые частицы, взятую навеску предварительно замачивают водой и мелкие частицы удаляют отмучиванием. Затем пробу высушивают и производят рассев частиц на ситах с указанными размерами отверстий. Остатки на ситах взвешивают и выражают их в процентах ко взятой навеске.

Пипеточный метод относится к непрерывным методам гранулометричного анализа. Получаемые при этом сведения о содержании пылеватых и глинистых частиц в грунтах вместе с данными о числе пластичности грунта позволяют более полно характеризовать их с точки зрения дорожно-строительных работ.

Подготовка образца грунта к анализу. Образцы высушивают до воздушно-сухого состояния, для чего их раскладывают на листе бумаги слоем 1—2 см и время от времени перемешивают. Если в комнате, где просушивают грунты, много пыли, образцы надо прикрыть бумагой.

Перед анализом воздушно-сухой образец грунта тщательно перемешивают и рассыпают по листу бумаги ровным тонким слоем, затем шпателем пробу разделяют на квадраты (способ квартования) и из каждого квадрата берут такое количество грунта, чтобы его хватило для ситового (частицы размером более 0,25 мм) и пипеточного анализов (частицы размером менее 0,25 мм).

Отобранный грунт снова перемешивают и из него берут пробы для ситового анализа и для анализа «мелкозема» (грунтов с размером частиц менее 0,5 мм) методом пипетки. Анализ крупных частиц проводят на ситах, как указано выше.

Пробу для анализа «мелкозема» растирают в фарфоровой чашке пестиком с резиновым наконечником и просеивают через сито

с отверстиями 0,5 мм. Часть грунта, прошедшую через сито, тщательно перемешивают и из нее берут пробы для определения: 1) гигроскопической воды; 2) гранулометрического состава пипеточным методом; 3) содержания в грунте легкорастворимых солей.

Поправка на гигроскопическую воду. Чтобы точнее рассчитать содержание отдельных фракций (определяемое пипеточным методом) в абсолютно сухой навеске грунта, определяют содержание гигроскопической воды.

Для этой цели из того же образца воздушно-сухого грунта, прошедшего сквозь сито с отверстиями 0,5 мм, способом квадратов отбирают две средние пробы массой около 5 г каждая. Пробу помещают в заранее взвешенные стеклянные бюксы (стаканчики с притертыми крышками), взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0002 г и высушивают в термостате при 100—105 °С до постоянной массы. Затем определяют гигроскопическую влажность W_r в процентах по массе для каждой из двух проб грунта по формуле

$$W_r = \frac{P_1 - P_2}{P_0 - P_2} \cdot 100,$$

где P_1 — масса грунта со стаканчиком и крышкой до высушивания; P_2 — масса пустого стаканчика с крышкой; P_0 — масса грунта со стаканчиком и крышкой после высушивания до постоянной массы.

Результаты определения выражают с точностью до сотых долей единицы. Расхождение в параллельных определениях более чем на 0,1% не допускается. За гигроскопическую влажность в пробе грунта (поправка на гигроскопическую воду) принимают среднее арифметическое из двух определений.

Определив в пробе грунта содержание гигроскопической воды, делают пересчет воздушно-сухой навески, взятой для гранулометрического анализа, на абсолютно сухую навеску грунта по формуле:

$$q_0 = q_1 / (1 + 0,01W_r),$$

где q_0 — масса средней пробы грунта с поправкой на гигроскопическую воду (сухая навеска); q_1 — масса средней пробы воздушно-сухого грунта; W_r — гигроскопическая влажность.

Поправка на легкорастворимые соли (карбонаты, хлориды и сульфаты). Для определения наличия карбонатов пробу грунта (около 3 см³) в фарфоровой чашке обливают 10%-ной HCl. Выделение пузырьков CO₂ или вспучивание грунта указывает на наличие карбонатов.

Для определения присутствия легкорастворимых в воде сульфатов и хлоридов берут около 5 см³ грунта, обливают его 20 см³ дистиллированной воды, растирают, взбалтывают и фильтруют. Фильтрат переливают в две пробирки, добавляют 2—3 см³ 10%-ной HCl и затем столько же 5%-ного раствора BaCl₂: образование белого осадка свидетельствует о наличии сульфатов. Во вторую пробирку наливают около 2 см³ 10%-ной HCl и затем столь-

ко же 5%-ного AgNO_3 : выпадение белого творожистого осадка свидетельствует о наличии в грунте хлористых солей.

При содержании в грунте легкорастворимых солей суспензию грунта испытывают на способность его частиц к коагуляции, для чего берут навеску 5 г, переносят в фарфоровую чашку, обливают 10 см³ дистиллированной воды, тщательно растирают, кипятят в течение 10 мин и все сливают в мензурку объемом 100 см³, которую доливают дистиллированной водой до полного объема. Суспензию в мензурке тщательно взбалтывают стеклянной палочкой с резиновым наконечником и оставляют в покое на несколько часов. Образование рыхлого хлопьевидно-слоистого осадка с почти прозрачным слоем воды над ним указывает на происшедшую коагуляцию глинистых частиц.

В случае коагуляции берут 20 г грунта для глин и суглинков и 30 г для супесей, переносят в фарфоровую чашку, обливают горячей дистиллированной водой и промывают на фильтре до тех пор, пока в фильтре не исчезнут хлористые и сернокислые соли. После того как растворимые соли будут отмыты, грунт в чашке и на фильтре доводят до воздушно-сухого состояния, по возможности без потерь переносят на бумагу и тщательно перемешивают, после чего подвергают пипеточному анализу.

В отмытой от солей воздушно-сухой пробе грунта определяют содержание гигроскопической воды и вносят поправку на ее содержание.

По предложению П. Ф. Мельникова, для обеспечения диспергирования микроагрегатов и стабильности суспензии при анализе засоленных и карбонатных грунтов при подготовке пробы к гранулометрическому анализу навеску грунта в течение 20 мин растирают до состояния густой пасты с добавлением 4- или 6,7%-ного раствора пиррофосфорнокислого натрия $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$: 4%-ного из расчета на безводный пиррофосфорнокислый натрий $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, 6,7%-ного — из расчета на водный пиррофосфорнокислый натрий $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Раствор $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ вводят в количестве 20—25 мл для глин и суглинков и 15 мл для супесей и песков, но с таким расчетом, чтобы смоченная раствором навеска грунта находилась при растирании в состоянии пластичной пасты. При содержании в грунте легкорастворимых солей более 2% по массе их удаляют промыванием и внесением поправки на содержание солей. При подсчете результатов гранулометрического анализа вносят поправку на количество внесенного раствора пиррофосфорнокислого натрия.

Проведение пипеточного анализа. Из части грунта, прошедшего сквозь сито с отверстиями 0,5 мм, берут навеску с точностью до 0,002 г в количестве для глин около 10 г, для суглинков 15 г, для супесей 20 г, и вычисляют массу средней пробы грунта без гигроскопической воды q_0 . Затем навеску переносят в коническую колбу емкостью 500 см³ и заливают 20-кратным количеством дистиллированной воды с добавлением 1 см³ 25%-ного раствора аммиака. Отверстие колбы закрывают пробкой, в которую вставлен обратный холодильник или длинная (около 50 см) стеклянная

ная трубка. Колбу с грунтом оставляют на 2 ч, взбалтывая жидкость через каждые 15—20 мин. Затем содержимое ее кипятят в течение часа (кипячение не должно быть бурным) и охлаждают до комнатной температуры; отстоявшуюся жидкость осторожно сливают в литровый цилиндр диаметром 6—8 см. Остаток на дне взмучивают, при помощи промывалки переносят в фарфоровую чашку и тщательно растирают резиновым пестиком. Содержимое чашки отстаивается 2—3 мин, после чего жидкость осторожно сливают в другую фарфоровую чашку, из которой через 2—3 мин суспензию переливают в литровый цилиндр. В первую чашку доливают воду и снова растирают остатки грунта. Растирание в первой чашке повторяют до тех пор, пока в ней не останется чистый осадок. Осадок во второй чашке, после того как на дне ее соберется достаточное его количество, растирают так же, как и в первой чашке. Если при обработке грунта в литровом цилиндре объем жидкости будет менее 1 л, в цилиндр доливают дистиллированную воду до этого объема. На 1 л воды надо добавить 2 см³ 25 %-ного

раствора аммиака.

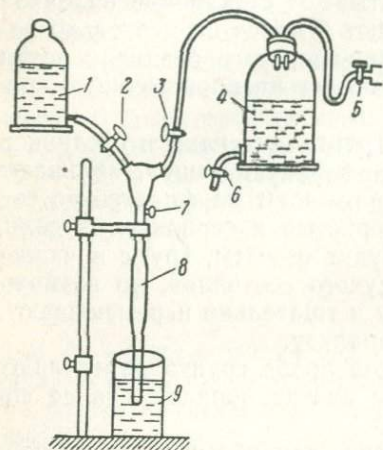


Рис. 20. Схема пипетки с трехходовым краном для отбора проб суспензии

Цилиндр с суспензией охлаждают до комнатной температуры, после чего суспензию в течение 2 мин взмучивают мешалкой и отбирают пробу пипеткой в сроки, указанные в приложении I, с учетом температуры суспензии, плотности частиц грунта и глубины отбора проб.

Аппаратура для отбора проб суспензии пипеткой. Штатив для отбора проб представляет собой деревянный круг-подставку, который при помощи трех опорных уравнивательных винтов приводят в горизонтальное положение. В него укреплен стержень. Поверх подставки смонтирован вращающийся круглый стол. На стержень надета скользящая муфта с держателем для пипетки. Муфту на требуемой высоте крепят стопорным винтом.

Пипетка для отбора проб и ее монтаж. Для отбора проб суспензии можно пользоваться обычной пипеткой, но удобнее для этой цели применять специальную пипетку засасывающего типа с трехходовым краном (рис. 20). Такая пипетка позволяет точно отбирать необходимый объем суспензии и уменьшает возможность ее взмучивания при взятии пробы из цилиндра. Пипетка 8 имеет длину 25 см; конец тубуса запаян, а отверстия диаметром 1 мм для засасывания суспензии расположены на боковой поверхности у конца тубуса. Выше луковицы (расширения) пипетка снабжена краном 7, фиксирующим необходимый для отбора пробы

объем, равный 25 см³. Кран пипетки имеет два сквозных хода, расположенных взаимно перпендикулярно: один из них с выходным отверстием проходит через ручку крана. Кран вверху пипетки переходит в полый шар, оканчивающийся двумя трубками. Одну из трубок полого шара соединяют резиновой трубкой с трубкой горлышка бутылки 4, заполненной водой, а вторую соединяют с бутылкой 1 с дистиллированной водой. Вторую трубку в пробке бутылки 4 соединяют с водопроводным краном 5. При отсутствии водопровода в пробке бутылки монтируют одну трубку и бутылку заполняют водой через горлышко при снятой пробке. Обе бутылки в нижней части имеют отверстия для пробок с отводными трубками. Все соединения делают при помощи резиновых трубок. На каждом соединении монтируют зажим Гофмана.

Порядок отбора проб пипеткой. 1. Прежде всего бутылки заполняют водой; все зажимы на соединениях перекрывают; бутылку 1 через горлышко наполняют дистиллированной водой; открывают кран пипетки 7, освобождают зажим 3 и затем открывают зажим 5 и через водопроводный кран наполняют бутылку 4 водой; после ее заполнения водопровод выключают, кран пипетки закрывают.

2. Для взятия пробы суспензии пипеткой ее при закрытом кране 7 опускают в суспензию 9 на нужную глубину; в момент отбора пробы кран пипетки 7 открывают и ослабляют зажим 3, затем открывают зажим 6 на отводной трубке бутылки 4; вода из бутылки 4, вытекая, создает разрежение воздуха (вакуум) выше уровня воды в бутылке, благодаря чему в пипетку засасывается суспензия; когда пипетка будет заполнена несколько выше крана 7, последний перекрывают и зажим 3 закрывают.

3. Для удаления избытка взятой пробы освобождают зажим 2; из бутылки 1 в полый шар пипетки поступает дистиллированная вода, ополаскивает шарообразную часть пипетки и стекает в отдельный стаканчик через специальное отверстие в кране пипетки; после этого зажим 2 закрывают.

4. Для освобождения пипетки под нее ставят стакан и открывают кран пипетки. После освобождения пипетку ополаскивают, для чего открывают зажим 2. Когда пипетка будет обмыта, зажим закрывают.

Скорость падения частиц в воде рассчитывается преимущественно по формуле Стока с учетом плотности твердой фазы грунта и температуры суспензии.

Приготовленную суспензию перед отбором пробы следует взбалтывать в течение 1 мин до полного взмучивания осадка со дна цилиндра, после чего оставить в покое до момента взятия пробы. Время отбора проб суспензии (с размерами частиц менее 0,05; 0,01—0,005 и 0,001 мм) после начала отстаивания следует принимать в соответствии с требованиями, указанными в приложении I, и с учетом плотности частиц грунта и температуры суспензии.

В соответствии с приложением I первый раз из суспензии пробу берут с глубины 25 см для определения содержания частиц

размером менее 0,05 мм. После взятия первой пробы содержимое цилиндра снова взмучивают, оставляют в покое на время, указанное в приложении I, и берут пробу с глубины 10 см для определения частиц размером менее 0,01 мм. Третий и четвертый раз пробу берут с глубин 10 и 7 см соответственно для определения частиц диаметром менее 0,005 и 0,001 мм. После взятия проб с частицами менее 0,01; 0,005 и 0,001 мм перед взмучиванием в цилиндре измеряют температуру. При определении содержания частиц размером менее 0,05 мм пипетка наполняется за 10 с, а в остальных случаях, соответственно за 15, 20 и 30 с. Каждую пробу суспензии переносят в предварительно взвешенный стаканчик, выпаривают досуха, а затем высушивают до постоянной массы при 100—105 °С и охлаждают в эксикаторе. После этого стаканчик с остатком грунта взвешивают с точностью до 0,0002 г.

Обработка результатов анализов. Процентное содержание частиц отдельных фракций, оставшихся на сите, вычисляют по формуле:

$$\Phi_1 = (\Phi/q_0)(100 - k),$$

где Φ_1 — содержание частиц данной фракции; q_0 — масса средней пробы с поправкой на гигроскопическую воду; Φ — масса пробы, высушенной до постоянной массы фракции; k — суммарное содержание фракций более 0,5 мм.

Суммарное процентное содержание фракций менее 0,05; 0,01; 0,005 мм вычисляют по формуле:

$$\Phi_2 = \frac{1000 \cdot \Phi}{V \cdot q_0} (100 - k),$$

где Φ_2 — масса суммы фракций, взятая в пипетку через определенный срок отстаивания, и высушенная при 100—105 °С до постоянной массы; V — объем пипетки.

Процентное содержание фракции определенного диаметра (например, 0,05—0,01 или 0,01—0,005 мм) вычисляют путем вычитания из суммарного содержания частиц менее 0,05 мм суммарного содержания частиц менее 0,01 мм и т. д.

Процентное содержание частиц диаметром 0,1—0,05 мм или 0,25—0,05 мм вычисляют по разности между принятой за 100 % массой всей пробы и суммарным процентным содержанием всех остальных выделенных из этой пробы фракций.

Результаты анализа вычисляют в процентах (с точностью до одного десятичного знака) и записывают в виде таблицы с выделением следующих фракций в мм: более 10; 10—5; 5—2; 2—1; 1—0,5; 0,5—0,25; 0,25—0,1; 0,1—0,05; 0,05—0,01; 0,01—0,005; 0,005—0,001 и менее 0,001. Сумма всех фракций должна быть равна 100 %. Дополнительно в таблице результатов анализа приводят плотность частиц грунта, процентное содержание гигроскопической воды, а для засоленных грунтов — содержание легкорастворимых солей в процентах.

Полевые методы. Упрощенные методы определения гранулометрического состава грунтов широко применяются при полевых

инженерно-геологических обследованиях, проводимых при изысканиях под строительство автомобильных дорог. Полевые методы основаны на учете способности отдельных фракций грунта по-разному относиться к воде: глинистые частицы сильно набухают, а песчаные — наоборот, не набухают и быстро осаждаются в воде.

Аппаратура. Градуированные воронки (рис. 21) или цилиндры, емкостью 100 см³; сито с диаметром отверстий 2 мм; резиновые груши; ступка фарфоровая с пестиком; часы песочные на 30 с; шпатель; фарфоровые чашки.

Подготовка образцов. Пробу грунтов массой не менее 200 г, предварительно высушенную на воздухе, растирают в ступке и просеивают через сито. Из подготовленного таким образом грунта берут среднюю пробу для анализа.

При наличии частиц размером более 2 мм, их взвешивают и содержание выражают в процентах к массе взятой воздушно-сухой навески. В дальнейшем на этот процент вносят соответствующую поправку при расчете более мелких частиц.

Определение песчаных частиц (2—0,05 мм). При необходимости точного определения суммарного содержания песчаных частиц (и вычисления содержания пылеватых и глинистых частиц) в специальной воронке отмучивают пылеватые и глинистые частицы.

На технических весах отвешивают среднюю пробу грунта массой 20 г, которую замачивают водой в фарфоровой чашке диаметром 15—16 см. При этом в воду добавляют 5 см³ 1 %-ного раствора соды или щелочи. Через час навеску растирают резиновым пестиком в течение 2—3 мин и в чашку добавляют воду так, чтобы ее уровень был примерно на 3—4 см выше дна чашки. Затем содержимое взбалтывают и через 30 с суспензию, содержащую неосевшие частицы размером менее 0,05 мм, осторожно сливают в сосуд большей емкости.

Отмучивание частиц менее 0,05 мм продолжают до просветления слоя воды за указанный промежуток времени. Для проверки полноты удаления указанных частиц, осевшие на дно чашки частицы смывают водой в специальную воронку (см. рис. 21), закрепленную на штативе.

Доведя уровень жидкости в воронке до линии А (см. рис. 21), быстрым движением мешалки (вверх и вниз) взмучивают суспензию и дают ей отстояться в течение 30 с. За это время частицы, размером более 0,05 мм, проходят столб жидкости, равный 60 мм от линии А до линии Б, а взвешенными окажутся лишь частицы диаметром менее 0,05 мм.

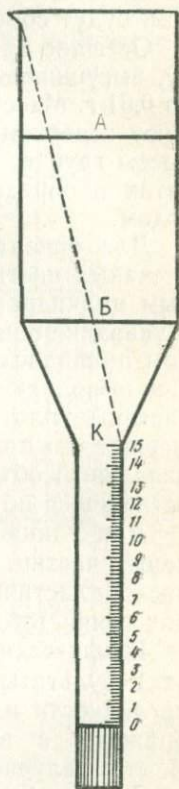


Рис. 21. Градуированная воронка для определения гранулометрического состава грунта

Жидкость сливают плавным поворотом воронки до положения, при котором она займет уровень, показанный на рис. 26 пунктиром (край воронки — точка К). После этого уровень жидкости снова доводят до черты А, суспензию взмучивают и через 30 с снова сливают. Отмучивание продолжают до полного просветления столба жидкости между линиями А и Б. На дне воронки, таким образом, будут собраны частицы размером от 2 до 0,05 мм.

Осевшие на дне воронки частицы (2—0,05 мм) смывают в чашку, высушивают и взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Массу частиц умножают на пять и таким образом вычисляют содержание песчаных частиц (2—0,05 мм) в процентах от массы грунта. При большом содержании частиц их разделяют на ситах и определяют отдельные фракции, пользуясь ситовым методом.

Для ориентировочного определения суммарного содержания песчаных частиц пользуются этой же воронкой или градуированным цилиндром объемом 100 см³. При пользовании воронкой постукиванием набивают в трубку 5 см³ грунта, а при градуированном цилиндре — 10 см³. Отмучивание пылеватых и глинистых частиц выполняют в описанном порядке. Осевшие на дно песчаные частицы уплотняют постукиванием до постоянного объема и измеряют его по градуированной шкале. Принимая за 100% первоначальный объем грунта до отмучивания, в процентах выражают оставшийся объем песчаных частиц.

Для глинистых грунтов, после определения содержания песчаных частиц, по методике, изложенной в гл. X § 4, определяют число пластичности грунта и по данным табл. 5 устанавливают вид глинистого грунта.

Графические методы изображения гранулометрического состава. Результаты гранулометрического анализа грунтов для большей наглядности и облегчения соответствующих расчетов обычно изображают в виде кривых неоднородности — кумулятивных. В этом случае ординаты кривой соответствуют не содержанию отдельных фракций, а сумме фракций частиц менее данного диаметра. Для построения кривой по оси ординат откладывают суммарный процент содержания фракций от 0 до 100, а по оси абсцисс — логарифмы диаметров частиц. Для нанесения кривой обычно пользуются готовой сеткой, построенной в полулогарифмическом масштабе. На одну и ту же сетку можно наносить несколько кривых для различных грунтов (рис. 22).

По кривой неоднородности можно находить так называемый действующий (эффективный) диаметр частиц песчаного грунта d_{10} , представляющий собой размер суммарного содержания частиц в грунте в количестве 10%. Эту условную величину используют при подсчетах коэффициента фильтрации по данным гранулометрического анализа. Иногда на кривой неоднородности грунтов выделяют также размер частиц d_{60} , мельче которого в грунте содержится 60% частиц.

Отношение d_{60}/d_{10} называют коэффициентом или степенью неоднородности гранулометрического состава грунта. Чем больше коэффициент неоднородности, тем более разнородным по гранулометрическому составу является грунт. Пески с коэффициентом неоднородности $k > 3$ считают разнозернистыми (неоднородными), а пески с $k \leq 3$, мелкие пески с содержанием частиц размером 0,10—0,25 мм в количестве 90% по массе и более считают однородными.

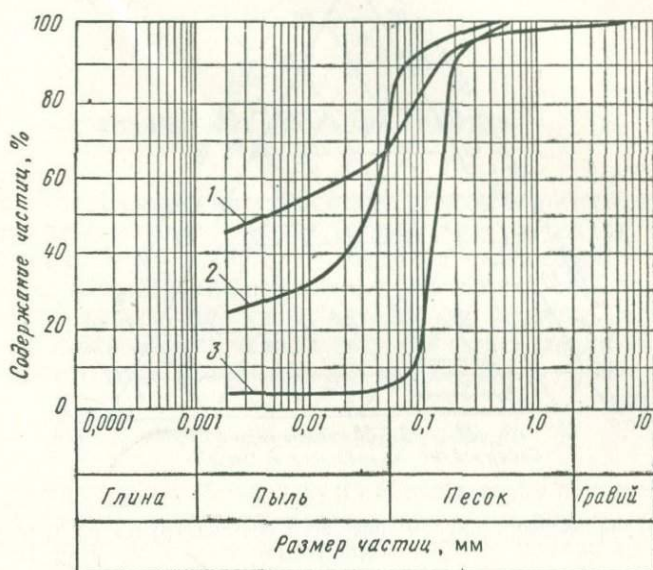


Рис. 22. Графическое изображение гранулометрического состава грунта в виде кривой неоднородности:

1 — для глины; 2 — для пылеватого суглинка; 3 — для песка

Графическое изображение гранулометрического состава грунтов позволяет наглядно и быстро производить сравнение различных по составу грунтов, а также решать некоторые задачи по искусственному улучшению свойств грунтов.

Гранулометрический состав грунтов можно также изображать методом треугольных координат (треугольник Фере). Этот метод основан на известном свойстве равностороннего треугольника: если из какой-либо точки внутри треугольника опустить перпендикуляры на его стороны, то сумма отрезков будет равна его высоте. Поэтому если разделить высоты равностороннего треугольника на 100 равных частей и из этих точек провести линии, перпендикулярные к этим высотам, то этими линиями стороны треугольника также разделяются на 100 равных частей (рис. 23).

Таким образом, каждая из сторон равностороннего треугольника позволяет характеризовать процентное содержание одной из трех основных фракций грунта: песка, пыли и глины. Это

свойство позволяет изобразить гранулометрический состав грунта точкой внутри такого треугольника.

На основе исследований и производственного опыта установлено, что некоторые разновидности супесчаных грунтов обладают повышенной прочностью и устойчивостью как в сухом, так и в увлажненном состоянии, но при условии, что в составе грунта

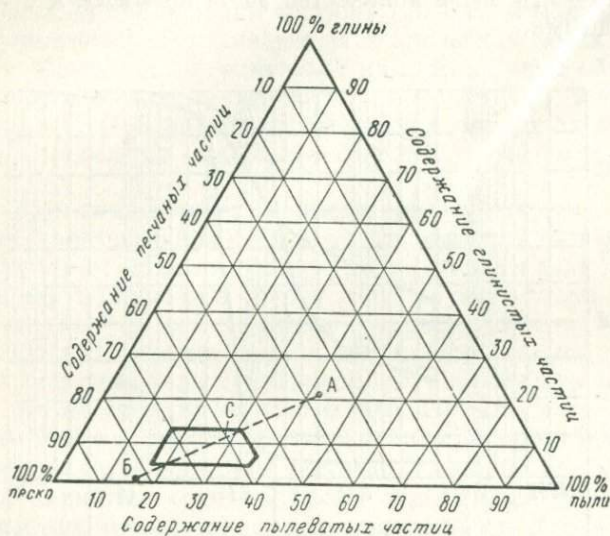


Рис. 23. Изображение гранулометрического состава грунта по треугольным координатам

содержатся в определенном соотношении песчаные или гравийные и песчаные частицы, играющие роль скелета, воспринимающего на себя нагрузки.

В таком грунте должны содержаться также пылеватые частицы, максимально заполняющие поры грунта, и обязательно, но в относительно небольшом количестве, глинистые частицы. Последние придают грунту связность и монолитность.

Такие грунты принято называть оптимальными по гранулометрическому составу. Теоретическое обоснование и экспериментальное изучение наилучшего соотношения частиц различной крупности в оптимальном грунте было дано в исследованиях В. В. Охотина и Н. Н. Иванова.

Чтобы установить возможность получения из двух исходных грунтов неоптимального состава смесь оптимального состава и рассчитать процентное содержание ее компонентов, необходимо нанести внутри треугольника пределы оптимальных по составу смесей (см. рис. 23). Затем наносят гранулометрический состав исходных грунтов (точки А и Б). Если прямая линия, соединяющая точки А и Б, пересекает пятиугольник, очерчивающий границы

оптимальных по составу грунтов, то из таких грунтов может быть составлена оптимальная смесь.

Процентное содержание грунтов А и Б в смеси определится отрезками АС и СБ, где точка С характеризует гранулометрический состав искомой оптимальной смеси.

Измерив отрезки АБ, АС и СБ, рассчитывают процентное содержание в оптимальной грунтовой смеси:

$$\text{грунта А} = (СБ/АБ) \cdot 100 = (15,5/31) \cdot 100 = 50\%;$$

$$\text{грунта В} = (АС/АБ) \cdot 100 = (15,5/31) \cdot 100 = 50\%.$$

Глава X

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

К основным физическим свойствам грунтов относят: плотность, пористость, пластичность, липкость, набухание и усадку. Они хорошо отражают и характеризуют строительные свойства грунтов.

В связи с рассмотрением основных физических свойств в главе одновременно дается описание метода определения влажности грунтов, знание которого необходимо для определения плотности (объемной плотности), пластичности, набухания и других свойств.

§ 1. Плотность частиц грунта

Плотностью частиц грунта называется отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к объему его твердой части (твердой фазы). Она служит показателем минерального состава грунтов. Для большинства грунтов, лишенных органических веществ, плотность частиц грунта колеблется в среднем от 2,6 до 2,8 т/м³. Величина плотности частиц грунта входит в ряд расчетных формул, например для подсчета пористости грунтов и др.

Определение плотности частиц незасоленных грунтов производят по ГОСТ 5181—78. Для этого анализа применяют мерные колбы или пикнометры емкостью не менее 100 мл. Взвешивание производят с точностью до 0,01 г.

Среднюю пробу грунта (массой не менее 20 г), прошедшего через сито с отверстиями 2 мм, переносят через воронку в заранее взвешенную сухую мерную колбу. Колбу (или пикнометр) с грунтом взвешивают и вычитая из массы колбы с грунтом массу пустой колбы, определяют массу воздушно-сухой навески грунта, находящейся в колбе.

Одновременно берут навеску для определения гигроскопической влаги грунта. Затем колбу с грунтом наполняют дистиллированной водой примерно до половины и несколько раз взбалтывают осадок. Кипятят в колбе навеску грунта с водой на песчаной бане (не допуская разбрызгивания) в течение 1 ч для глин и суглинков и 30 мин для супесей и песков.

После кипячения в колбу доливают дистиллированную воду (кипяченую) до мерной черты и охлаждают ее в ванне с водой до постоянной температуры 20 °С. Уровень воды в колбе доводят до мерной черты строго по нижнему краю мениска. С помощью фильтровальной бумаги тщательно удаляют капли воды снаружи и внутри колбы до мерной черты. Колбу с водой и грунтом взвешивают.

Затем колбу освобождают от грунта и воды, ополаскивают, наполняют до мерной черты кипяченой дистиллированной водой и охлаждают в ванне с водой до температуры суспензии. После этого колбу с водой взвешивают.

Плотность частиц грунта ρ_s вычисляют по формуле:

$$\rho_s = \frac{q_1}{q_1 + q_3 - q_2} \cdot \rho_w, \quad (10)$$

где q_1 — масса навески грунта, пересчитанная на абсолютно сухой грунт, т. е. с поправкой на гигроскопическую воду; q_2 — масса колбы с водой и грунтом; q_3 — масса колбы с водой; ρ_w — плотность воды (или иной жидкости).

Плотность частиц некоторых грунтов и почв колеблется в следующих пределах (в т/м³): торф 0,50—0,80; чернозем (гумусовый горизонт) с содержанием 10% гумуса 2,37; чернозем с меньшим содержанием гумуса 2,40—2,50; подзолистый суглинок с 3% гумуса 2,65; пески 2,65—2,67; супеси 2,67—2,69; суглинки 2,69—2,71; глины 2,71—2,73.

При определении плотности частиц засоленных грунтов и грунтов, содержащих активную коллоидную часть в большом количестве, определение выполняется с применением вместо воды нейтральной жидкости — керосина, бензина и т. п. Для удаления воздуха из грунта вместо кипячения используют вакуум, применяя для этой цели разрежающий насос. При подсчете плотность вносятся поправка на плотность керосина или бензина.

§ 2. Влажность

Влажностью грунта называют количество (в %) содержащейся в нем воды по отношению к абсолютно сухой массе. Влажность грунта — величина переменная и может колебаться в широких пределах. Чем более мелкозернист грунт, тем в более широких пределах может изменяться его влажность. Влажность является важной характеристикой состояния грунта. Определяют ее, руководствуясь ГОСТ 5180—75.

Порядок определения. Влажность обычно определяется весовым методом, т. е. путем определения потери массы при высушивании навески грунта в следующем порядке: 1) взвешивают бюкс; 2) в бюкс помещают пробу влажного грунта массой 10—20 г; 3) бюкс с влажным грунтом взвешивают с точностью до 0,01 г; 4) взвешенный бюкс с грунтом при открытой крышке устанавливают в сушильный шкаф, отрегулированный на нагрев до 105 °С; пробу

грунта выдерживают в шкафу при этой температуре в течение 5 ч; 5) по истечении срока сушки бюкс с высушенным грунтом закрывают крышкой и переносят для остывания до комнатной температуры в эксикатор с хлористым кальцием; 6) охлажденный бюкс с грунтом снова взвешивают.

Для высушивания грунта до сухого состояния производят повторное высушивание в течение часа с последующим контрольным взвешиванием пробы. Разница между первым и вторым взвешиванием не должна превышать 0,02 г.

Влажность грунта определяют по формуле:

$$W = \frac{q_1 - q_0}{q_0 - q} \cdot 100\%,$$

где q_1 — масса бюкса с влажным грунтом; q_0 — масса бюкса с высушенным до постоянной массы грунтом; q — масса пустого бюкса.

§ 3. Плотность грунта

Плотностью грунта называют отношение массы грунта, включая массу воды в его порах, к занимаемому этим грунтом объему. Поэтому плотность одного и того же грунта, особенно глинистого, есть величина переменная; она может изменяться в довольно широких пределах в зависимости от его влажности.

Плотность может быть определена для грунтов естественной структуры и влажности, а также для грунтов с нарушенной структурой — насыпных, разрыхленных и уплотненных различными способами.

Определение плотности воздушно-сухого песчаного грунта в рыхлом состоянии. Установка воронки. На лабораторном штативе при помощи держателей крепят жесткую воронку, на тубус которой надевают заранее просверленную корковую пробку. Пробку зажимают держателем. Тубус воронки должен быть вертикален. Держатель на штативе закрепляют так, чтобы расстояние от штатива до конца тубуса было 40 см. Под воронку подставляют цилиндр соответствующий емкости. Тубус воронки должен находиться в центре поперечного сечения цилиндра.

Порядок работы. 1) пробу воздушно-сухого грунта массой около 1 кг пропускают через сито с отверстиями размером 10 мм; 2) на чашечных весах с точностью до 1 г взвешивают мерный цилиндр емкостью 500 см³ (если определяют объем мелкозернистого грунта) или 1000 см³ (если грунт содержит в большом количестве песчаные и гравийные частицы); 3) взвешенный цилиндр через воронку наполняют грунтом, прошедшим через сито с отверстиями 10 мм; объем грунта в цилиндре должен быть 500 см³ при мелкозернистом грунте и 1000 см³ при крупнозернистом, содержащем зерна гравия; 4) цилиндр, наполненный грунтом, взвешивают; 5) плотность грунта определяют по формуле:

$$\rho_r = (q - q_1)/V,$$

где q — масса цилиндра с грунтом; q_1 — масса пустого цилиндра; V — объем грунта в цилиндре.

В целях контроля определение производят два раза. Расхождение в параллельных определениях не должно быть выше $\pm 1\%$.

Определение плотности глинистых грунтов с природной влажностью и ненарушенным сложением. Для определения плотности грунтов, пробы которых не поддаются вырезке кольцом или склоновых к выкрашиванию, а также комков неправильной формы применяется *метод парафинирования* (ГОСТ 5182—78).

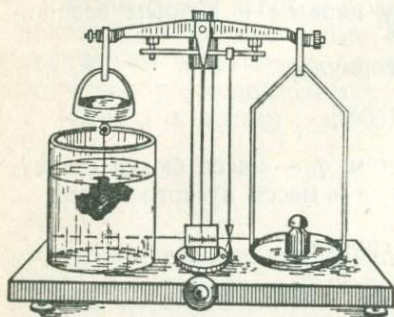


Рис 24. Весы для гидростатического взвешивания

Порядок работы. 1) в фарфоровой чашке растопляют около 100 г парафина; 2) взвешенный кусок грунта с природной влажностью и ненарушенным сложением объемом 30—50 см³, перевязанный нитью со свободным концом длиной 10—15 см, погружают на 3—5 с в расплавленный парафин, а затем охлаждают на воздухе; по остывании и затвердевании парафиновой оболочки образец вторично погружают в парафин и вновь охлаждают на воздухе; поверхность запарафинированного образца должна быть гладкой и не иметь пузырей; для охлаждения запарафинированных образцов их подвешивают на тонкой нити или проволоке к держателям штатива; 3) одновременно берут отдельную пробу грунта для определения его природной влажности; 4) охлажденный запарафинированный образец массой P_2 взвешивают и путем вычитания массы грунта P_1 определяют массу парафина P на образце $P = P_2 - P_1$; 5) объем парафина V_3 вычисляют по формуле:

$$V_3 = P/0,9,$$

где 0,9 — плотность парафина; 6) под поднятой левой чашкой технических весов устанавливают деревянную подставку, на которую помещают химический стакан, наполовину заполненный водой комнатной температуры; к уравновешенной левой чашке весов подвешивают проволочку с загнутым нижним концом и массу ее в свою очередь уравновешивают грузом на правой чашке (рис. 24); 7) подготовленный запарафинированный образец подвешивают к проволоке, погружают в воду и определяют его массу P_3 в воде. Плотность грунта определяют по формуле:

$$\rho_r = \frac{P_1}{(P_1 - P_3) V_3}.$$

Определение с целью контроля производят дважды.

Определение плотности грунта методом режущего кольца. В полевых условиях или при наличии в лаборатории монолита грунта с ненарушенным сложением определить его объемную массу можно с помощью металлических колец (обычно стальных), имеющих с внешней стороны скос в виде резца.

Рекомендуется употреблять кольца объемом не менее 250 см³ для глин и суглинков и 500 см³ для супесей. Их диаметр должен быть в 2,5—3 раза больше высоты.

Режущее кольцо (его масса и объем должны быть известны) осторожно вдавливают в грунт; грунт с внешней стороны кольца постепенно отбрасывают. Кольцо вдавливают таким образом, чтобы его верхний край был ниже поверхности грунта. Грунт при этом должен полностью заполнять кольцо и выступать на 1—2 см над его верхним краем.

Затем заподлицо зачищают нижнюю и верхнюю поверхности грунта, находящегося в кольце. Кольцо с грунтом взвешивают с точностью до 0,1 г.

Зная массу B и объем V грунта в кольце, вычисляют плотность влажного грунта $\rho_r = B/V$.

Определение плотности сухого грунта. Плотностью сухого грунта (скелета грунта) называют отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к занимаемому этим грунтом объему (включая имеющиеся в этом грунте поры). Эта плотность может определяться как для грунта ненарушенного сложения в состоянии природной влажности, так и после его искусственного уплотнения.

Плотность сухого (скелета) грунта необходимо знать для определения характеристик грунта и для других целей.

Плотность сухого грунта ρ_d рассчитывается по формуле:

$$\rho_d = \rho_r / (1 + 0,01W),$$

где ρ_r — плотность влажного грунта; W — влажность.

Определение пористости грунта. Пористость грунта n выражает отношение объема пор в грунте к общему объему грунта и может быть вычислена по формуле:

$$n = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}\right) \cdot 100 \%,$$

где ρ_d — плотность сухого грунта; ρ_s — плотность частиц грунта.

§ 4. Пластичность и липкость

В зависимости от степени увлажнения глинистые грунты могут быть твердыми, полутвердыми, пластичными и текучими. Переход грунта из одного состояния (консистенции) в другое с изменением влажности происходит довольно резко, скачкообразно и характеризует изменение степени устойчивости грунта под нагрузкой. Поэтому влажности, соответствующие резким переходам грунта из одного состояния в другое (критические влажности), используются в качестве наиболее важных характеристик грунта.

Наибольшее значение имеет определение влажностей, соответствующих переходу грунта из пластичного в твердое состояние и из пластичного в текучее.

Пластичность. Пластичностью грунта называют способность его деформироваться под действием внешнего давления без разрыва сплошности массы и сохранять приданную форму после снятия деформирующего усилия. Глинистые грунты обладают пластичностью только при определенной влажности; при меньшей влажности они становятся твердыми, а при большей — текучими.

Для установления способности грунта принимать пластичное состояние проводится определение влажностей, характеризующих границы пластичного состояния грунта: текучести и раскатывания.

Граница текучести W_L характеризует влажность, при которой грунт из пластичного состояния переходит в текучее. При этой влажности связь между частицами исчезает, из-за чего они легко смещаются, и грунт теряет устойчивость.

Граница раскатывания W_P соответствует влажности, при которой грунт находится на границе перехода из пластичного состояния в твердое. При увеличении влажности выше границы раскатывания грунт переходит в пластичное состояние и начинает резко снижать устойчивость под нагрузкой. Границу текучести и границу раскатывания называют также верхним и нижним пределами пластичности.

Число пластичности I_P представляет собой тот интервал влажности, в пределах которого грунт находится в пластичном состоянии. Оно определяется как разность между влажностью на границе текучести и влажностью на границе раскатывания грунта.

Число пластичности является важной классификационной характеристикой глинистых грунтов и по нему, пользуясь табл. 5, определяют типы и виды глинистых грунтов. Грунты, устойчивые в дорожных основаниях или в проезжей части грунтовых дорог и наиболее пригодные для укрепления вяжущими материалами, обладают числом пластичности от 1 до 7.

По величине числа пластичности косвенно судят о степени глинистости, физико-механических и водных свойствах грунта. Повышение глинистости грунта влечет за собой увеличение числа пластичности.

В зависимости от влажности глинистого грунта и особенно когда эта влажность находится в пределах пластичности грунта, он характеризуется весьма различной устойчивостью и сопротивляемостью нагрузкам. Оценить степень устойчивости грунта можно путем определения его консистенции.

Консистенцию глинистых грунтов характеризуют показателем, определяемым по формуле:

$$I_L = (W - W_P) / (W_L - W_P).$$

Наименование консистенции глинистых грунтов производят в соответствии со СНиП II-Б. 1—62:

Наименование грунтов

Консистенция

Супеси

Твердые

$I_L > 0$

Пластичные
Текучие

$$0 < I_L < 1 \\ I_L > 1$$

Суглинки и глины

Твердые
Полутвердые
Тугопластичные
Мягкопластичные
Текучепластичные
Текучие

$$I_L < 0 \\ 0 < I_L < 0,25 \\ 0,25 < I_L < 0,5 \\ 0,5 < I_L < 0,75 \\ 0,75 < I_L < 1 \\ I_L > 1$$

При влажности, равной или немного меньшей границы раскатывания, грунт весьма удобен для разработки выемок, отсыпки насыпей и их уплотнения. С переходом грунта в пластичное состояние проведение таких работ становится затруднительным и даже невозможным. При текучем состоянии грунт почти полностью теряет устойчивость.

Определение границы текучести. Влажность на границе текучести W_L определяется в соответствии с ГОСТ' 5183—77 при помощи балансирующего конуса А. М. Васильева, погружаемого в специально приготовленное грунтовое тесто на глубину 10 мм. Границу текучести определяют в несцементированных грунтах, состоящих из частиц мельче 1 мм, обладающих границей раскатывания. Балансирный конус, с помощью которого определяется граница текучести, имеет высоту 25 мм с углом при вершине 30°. Общая масса конуса должна составлять 76 г (рис. 25).

Порядок определения. Среднюю пробу грунта, прошедшую сквозь сито с отверстиями 1 мм, увлажняют в чашке до состояния мягкопластичной массы и после перемешивания оставляют в таком состоянии на сутки.

Чашку помещают в какой-либо закрытый сосуд для предохранения от испарения влаги.

После этого увлажненный грунт еще раз тщательно перемешивают и наполняют им до краев стаканчик прибора диаметром не менее 4 см и высотой не менее 2 см. При этом не должно оставаться пустот, не заполненных грунтом. Избыток грунта срезают шпателем и выравнивают его поверхность.

Стаканчик помещают на подставку и к поверхности увлажненного грунта мягкопластичной консистенции подносят острие конуса, который под влиянием собственного веса погружается в пробу. Перед погружением конус смазывают вазелином. Погружение

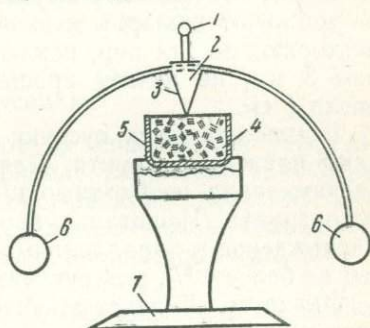


Рис. 25. Балансирный конус А. М. Васильева для определения границы текучести грунтов:

1 — ручка; 2 — конус; 3 — круговая метка; 4 — грунт увлажненный; 5 — стаканчик; 6 — балансирующий конус; 7 — подставка

конуса в увлажненный грунт на глубину 10 мм в течение 5 с указывает на то, что влажность грунта соответствует границе текучести. Если конус не достиг глубины погружения 10 мм (метка на конусе), необходимо вынуть грунт из стаканчика, добавить в него немного воды, перемешать и повторить указанные операции.

Если конус сразу погружается больше чем на 10 мм, грунт вынимают из стаканчика, добавляют сухого грунта, перемешивают его и повторяют опыт.

По достижении требуемых условий погружения конуса из стаканчика отбирают пробу массой 10—12 г и определяют влажность грунта. Для каждого образца грунта производят два параллельных определения W_L . За искомую величину принимают среднее арифметическое из двух определений.

Расхождение в параллельных определениях влажности на границе текучести допускается: для супесей не более 2%, для суглинков и глин не более 2,5%.

Определение границы раскатывания. Влажность на границе раскатывания W_P —это та весовая влажность, при которой увлажненный грунт, раскатываемый в жгут диаметром около 3 мм, начинает крошиться, т. е. W_P характеризует собой переход грунта из пластичного в полутвердое состояние (консистенцию).

Подготовка образца грунта для определения границы раскатывания такая же, как и при определении границы текучести. Из увлажненного грунта скатывают шарик диаметром 1 см, переносят на восковую бумагу и осторожно раскатывают в жгутик диаметром 3 мм.

В том случае, если жгутик не распадается на кусочки, его снова собирают в шарик и вновь проводят раскатывание. Операцию повторяют до тех пор, пока грунт, раскатанный в жгутик диаметром 3 мм, не начнет крошиться на отдельные кусочки, длиной около 1 см.

Раскрошившиеся кусочки жгутика собирают в бюкс и определяют влажность грунта. Для определения влажности на границе раскатывания необходимо иметь в бюксе не менее 5 г испытуемого грунта. Испытание проводят с контрольным определением. Расхождение в параллельных определениях допускается: для супесей не более 1%, для суглинков и глин не более 2%.

Липкость. Липкостью называется способность грунтов прилипать к предметам. Ее выражают в паскалях и измеряют усилием, необходимым для отрывания прилипшего предмета от грунта. Липкость характерна для глинистых и отчасти пылеватых грунтов, находящихся в увлажненном состоянии. Она является отрицательным показателем при строительной оценке, поскольку липкость грунта, достигающая максимума в определенном интервале влажности, вызывает большие деформации в его поверхностном слое из-за налипания на колеса автомобилей или рабочие части землеройных машин. В связи с этим на суглинках и глинах в периоды их сильного переувлажнения (распутицы) прекращаются или сильно затрудняются проезд транспорта по грунтовым доро-

гам и работы по сооружению земляного полотна. На степень липкости грунта помимо влажности влияют его гранулометрический и химико-минералогический составы, сила первоначального при- давливания к нему предмета и тот материал, к которому прили- пает грунт (стекло, дерево, металл и пр.).

Наибольшей липкостью обла- дают тяжелые суглинки и особен- но глины, содержащие гумус, а также солонцы и солонцеватые почвы, содержащие поглощенный натрий. Наибольшая липкость в таких грунтах достигает 0,25 кПа. Песчаные и легкие супесчаные грунты практически не обладают липкостью. С увеличением влаж- ности липкость грунтов возрас- тает, но до известного предела. При увлажнении грунта до мяг- копластичной консистенции лип- кость начинает резко уменьшать- ся и при влажности грунта на границе текучести она не проявляется, поскольку грунт переходит в текучее состояние (рис. 26).

Липкость дополняет характеристику грунтов по гранулометри- ческому составу и пластичности и определяется для установления пределов удобообрабатываемости грунтов землеройными дорож- ными машинами, а также для оценки проезжаемости грунтовых дорог. Определение липкости производят на приборе В. В. Охоти- на и др.

§ 5. Набухание и усадка

Набуханием грунтов называют их способность увеличи- вать объем при впитывании воды. Природу набухания грунтов в настоящее время объясняют, основываясь на представлениях кол- лойдной химии. Коллоидные частицы обладают свойством связы- вать на своей поверхности значительное количество воды, что и вызывает их набухание.

Величина набухания у различных грунтов различна и зависит от содержания коллоидов, их состава, минерального состава грун- та и других факторов. Как правило, тяжелые глинистые грунты имеют максимальную величину набухания, а супеси и пески поч- ти не набухают.

Набухание грунта может вызывать деформации в грунтовом массиве и способствовать снижению его прочности и устойчивости. В инженерно-геологической практике набухание грунта характери- зуется: 1) величиной набухания, выражаемой процентным отношением приращения объема грунта при набухании к его пер- воначальному объему; 2) влажностью набухания, т. е. влажностью грунта, соответствующей максимальной величине

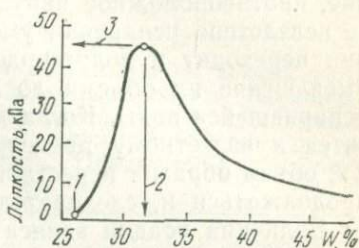


Рис. 26. График зависимости лип- кости глинистого грунта от его влажности:

1 — влажность начального прилипания; 2 — влажность максимального прилипания; 3 — максимальная липкость грунта

набухания (в процентах от массы сухого грунта); 3) силой набухания, по напряжению, развивающемуся в грунте в результате его набухания при увлажнении (в паскалях).

Усадкой называется способность влажных грунтов уменьшать свой объем при высыхании. Таким образом, усадка — явление, противоположное набуханию. Если содержание воды в грунте вследствие испарения уменьшается, он из пластичного состояния переходит в полутвердое. При этом для глинистых грунтов уменьшение их объема до известного предела равно количеству испарившейся воды. Когда же содержание воды в грунте приблизится к известному пределу, называемому пределом усадки, объем образца перестает уменьшаться; испарение воды может продолжаться и, следовательно, масса образца будет убывать.

Величина усадки зависит от содержания глинистых частиц и их химико-минералогического состава, а также от наличия более крупных фракций грунта. Глины и суглинки дают большую величину усадки, а супеси — крайне малую.

Г л а в а XI

ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

§ 1. Вода в грунтах и форма ее связей

Прочность при сжатии и сдвиге, липкость, пластичность, набухание и другие свойства в значительной степени зависят от степени увлажнения грунтов. В природных условиях в грунтах всегда содержится вода, однако ее количество, т. е. влажность, может изменяться в широких пределах.

Вода в грунтах может находиться в жидком, твердом (в виде льда) или газообразном (в виде пара) состоянии. Как показывают многочисленные наблюдения, вода, находящаяся в грунтах в жидком состоянии, обладает различными свойствами. При незначительном увлажнении глин или суглинков, ввиду их большой удельной поверхности, вода распределяется в массе грунта в виде очень тонких пленок, заполняя тончайшие поры между частицами или их микроагрегатами. Находясь в таком состоянии, вода характеризуется ничтожной подвижностью, замедленной испаряемостью, относительно более высокой вязкостью, пониженной температурой замерзания. Вода в состоянии таких пленок способствует повышению связности грунта.

С увеличением содержания воды в грунтах происходит заполнение более крупных пор и увеличение толщины водных пленок на частицах грунта. При переходе определенных пределов влажности, характерных для каждого грунта, происходит резкое, по существу скачкообразное изменение ряда свойств и консистенции.

В настоящее время, учитывая степень подвижности воды, различают несколько форм связей воды в грунтах (табл. 6).

Степень связности и формы связей воды в грунтах

Степень связности воды с поверхностью грунтовых частиц	Форма связи	Главнейшие признаки и свойства
Прочно-связанная	Адсорбционная	Гигроскопическая вода, молекулы которой прочно удерживаются адсорбционными силами. Поглощается поверхностью грунтовых частиц из воздуха, содержащего водяные пары. Удерживается на поверхности частиц с большой силой. Передвигается и удаляется, только переходя в пар
Рыхлосвязанная	Молекулярная (пленочная)	Образуется в грунте при сгущении водяных паров или остается в нем после удаления капельно-жидкой воды. Удерживается силами молекулярного притяжения на поверхности грунтовых частиц, но связана меньше, чем гигроскопическая вода. Образует слой пленочной воды, которая передвигается очень медленно из мест, где пленки воды толще, в места, где они тоньше. Замерзает при температуре ниже 0°C в зависимости от толщины пленки и длительности замораживания
Капиллярно-связанная	Капиллярная (восходящая или подвешенная)	Капиллярная вода, передвигающаяся и удерживаемая в грунте силами капиллярного натяжения сравнительно легко удаляется при высушивании и замерзает примерно при -1°C. Над поверхностью свободных грунтовых вод образует зону капиллярно увлажненного грунта. Заполняет поры грунта и передвигается с различной скоростью (в пылеватых грунтах относительно быстрее) под действием сил капиллярного натяжения
Связь отсутствует	Свободная (гравитационная просачивающаяся)	Обладает обычными свойствами жидкой воды. Передвигается под влиянием силы тяжести при разности гидростатического давления. Заполняет свободные от других видов воды поры и пустоты. Насыщение грунта свободной водой снижает его прочность

Помимо указанных в табл. 6 форм связей воды, в грунтах присутствует также химически связанная (кристаллизационная) вода, входящая в состав минеральных частиц. Выделить такую воду можно только в результате химического разложения вещества. Химически связанная вода не оказывает влияния на физико-механические свойства грунтов.

При отрицательной температуре вода может присутствовать в грунтах в твердом состоянии: в виде ледяных прослоек, линз, зерен или тончайших кристаллов, находящихся между грунтовыми частицами или их агрегатами. Роль такой воды может быть очень велика, так как наличие большого количества ледяных прослоек и кристаллов цементирует грунт при отрицательной температуре,

а при его оттаивании приводит к резкой потере несущей способности.

В природных условиях указанные в табл. 6 формы воды редко существуют обособленно друг от друга. Обычно в грунте вода находится одновременно в нескольких состояниях. В природной обстановке возможен переход одной формы воды в другую, тем более, что границы между отдельными формами связей воды имеют условный, относительный характер. Такой переход непрерывно совершается как под действием природных факторов (температуры воздуха, атмосферных осадков и др.), так и в результате деятельности человека (искусственное осушение, увлажнение, уплотнение грунтов).

Приведенное схематизированное расчленение отдельных форм связей воды помогает глубже познать поведение грунтов при различном увлажнении и служит основой для разработки мероприятий, обеспечивающих повышение их устойчивости под нагрузкой и в других случаях.

§ 2. Движение воды в грунтах

Влажность грунтов, залегающих на небольшой глубине от дневной поверхности, обычно изменяется в довольно широких пределах. В зависимости от времени года и климатических условий местности вода может накапливаться и перемещаться в массе грунта, что влечет за собой изменение влажности и переход одной формы воды в другую.

Движение воды в грунтах происходит: 1) в виде пара; 2) под действием молекулярных и капиллярных сил; 3) под действием силы тяжести.

Движение воды в виде пара. Исследования показывают, что если грунт содержит воду в количестве, превышающем его максимальную гигроскопичность, то воздух в порах будет насыщен водяными парами. По наблюдениям А. Ф. Лебедева, грунты в большинстве случаев содержат влагу в количестве, не меньшем, чем его максимальная гигроскопичность.

Водяные пары передвигаются в грунтах из мест с большой упругостью пара в места с меньшей его упругостью. В природных условиях летом грунты в верхних слоях нагреты больше, чем на глубине, поэтому водяные пары передвигаются сверху вниз и, сгущаясь (конденсируясь) на некоторой глубине, увеличивают запас влаги в грунте (явление подземной росы).

Зимой, наоборот, вследствие сильного охлаждения поверхности грунта происходит передвижение водяного пара из его нижних слоев, имеющих положительную температуру, в верхние слои с отрицательной температурой. Это приводит к накоплению влаги в верхних слоях при их промерзании, особенно в пылеватых неуплотненных грунтах, обладающих хорошей воздухопроницаемостью.

Водяной пар может также конденсироваться в грунте, поступающая из атмосферы, когда упругость водяных паров в воздухе становится больше, чем в грунтовой толще. Количество воды, поступающей этим путем в грунт, может достигать 100 мм в год.

Движение воды под влиянием молекулярных и капиллярных сил. Когда влажность в грунте становится выше максимальной его гигроскопичности, силы притяжения молекул воды к поверхности грунтовых частиц или их микроагрегатов начинают ослабевать, хотя и остаются до определенного предела достаточно большими. В этом случае вода размещается на частицах грунта в виде тонких пленок. Передвижение такой пленочной воды, находящейся под действием сил молекулярного давления и обладающей относительно большей вязкостью, чем обычная вода, происходит крайне медленно. Пленочная влага под действием сил молекулярного притяжения передвигается из мест более влажных в места с меньшей влажностью, т. е. из мест с более толстой пленкой воды и меньшим молекулярным давлением в места, где эти пленки имеют меньшую толщину, а молекулы воды находятся под более высоким молекулярным притяжением.

Наступившее в результате такого передвижения состояние равновесия влаги в грунте в природной обстановке обычно нарушается при подсыхании грунта или действию отрицательных температур. Это приводит к перемещению пленочной воды в сторону промерзающей толщи и вызывает значительное накопление влаги в мерзлых слоях грунта. Направление движения пленочной воды совершенно не зависит от влияния силы тяжести.

Дальнейшее увлажнение грунта приводит вначале к заполнению наиболее тонких, волосных промежутков между частицами, а затем и более крупных, междучастичных и межагрегатных пор. Вода начинает перемещаться под действием капиллярных сил, как в капиллярных трубках. При этом движение ее по капиллярным порам происходит всегда в сторону менее влажного грунта: вверх, если вода в избытке находится в нижних слоях грунта, и вниз, если грунт переувлажнен сверху. В дорожном земляном полотне вода из канав может по капиллярным порам передвигаться в боковом направлении в земляное полотно и переувлажнять его. Движение капиллярной воды по волосным промежуткам всегда происходит с равномерно убывающей скоростью.

Чем большего размера капиллярные поры, тем быстрее передвигается по ним вода, но при этом силы капиллярного всасывания становятся все меньше и высота капиллярного поднятия воды с увеличением размера пор уменьшается.

При среднем размере пор более 0,1 мм силы капиллярного поднятия практически сводятся к нулю, и вода в таких промежутках перемещается только под действием силы тяжести.

При уплотнении грунтов в земляном полотне до максимальной плотности водный режим его резко улучшается, так как крупные поры исчезают и создается система тонких сплошных волосных ходов. При увлажнении такого уплотненного грунта атмосферными

осадками влага передвигается в грунт под влиянием сил капиллярного притяжения с равномерно замедленной скоростью. Большое количество поверхностной воды при этом не проникает в грунт, а стекает в пониженные места. При этом благодаря наличию неразобщенных капилляров проникающая внутрь грунта влага может сравнительно быстро поднягиваться к его поверхности и испаряться. Таким образом, уплотнение грунта резко сокращает общий запас влаги в земляном полотне и способствует быстрому ее испарению, что повышает устойчивость дороги.

При отрицательной температуре в зоне промерзания грунта вода переходит в лед, и наблюдается капиллярное передвижение ее, направленное вверх, т. е. в сторону толщи с отрицательной температурой. Опытами установлено, что в уплотненных грунтах миграция влаги под действием отрицательных температур в значительной степени ослаблена.

В тех случаях, когда процесс движения воды в зону грунта с отрицательной температурой происходит в условиях его капиллярного увлажнения, переход ее в лед и подсосывание новых порций воды в течение зимы происходит непрерывно. Это приводит к накоплению воды в зоне промерзания грунта в виде отдельных линз или тонких прослоек льда. Весной, при оттаивании, такие слои грунта находятся в состоянии избыточного переувлажнения и характеризуются крайне низкой несущей способностью.

Движение воды под действием сил тяжести. В крупных порах грунта, где действие сил капиллярного натяжения весьма незначительно или совсем не имеет места, свободная (капельно-жидкая) вода начинает перемещаться под действием силы тяжести. Ее движение определяется направлением действия силы тяжести, т. е. всегда происходит в сторону более низких мест, а скорость ее передвижения в мелких порах меньше, чем в крупных. Просачивание свободной воды происходит на значительную глубину и обычно доходит до уровня грунтовых вод, если не будет израсходован ее запас на заполнение мелких капиллярных пор, что наблюдается при ее просачивании через слои грунта с малой влажностью.

Присутствие свободной воды обычно приводит к избыточному увлажнению грунта. В таких условиях глинистые грунты находятся в пластичном или текучем состоянии и характеризуются весьма малой сопротивляемостью нагрузкам.

Отвод из грунта свободной воды является важнейшей задачей при возведении и эксплуатации земляного полотна дорог и осуществляется путем устройства боковых канав и других дренажных сооружений.

§ 3. Влагоемкость, водопроницаемость и водоподъемная способность грунтов

Влагоемкость грунтов. Вода, попадая в грунт, смачивает его отдельные частички и комочки, окружая их пленками. С увеличением количества воды начинают заполняться поры грунта, до это-

го занятие воздухом. Количество воды, которое способен удерживать грунт в порах, называют влагоемкостью грунта. Влагоемкость одного и того же грунта изменчива и зависит от степени его уплотнения. Для грунтов разного происхождения и состава влагоемкость также различна. При этом с увеличением содержания глинистых частиц, в том числе гумусовых веществ, влагоемкость сильно возрастает; наоборот, для песчаных грунтов она сравнительно невелика.

Различают влагоемкости: 1) максимальную, или полную, когда все поры грунта заполнены водой; 2) капиллярную, когда вода в грунте заполняет только капиллярные поры в результате поднятия капиллярной воды снизу от свободного уровня воды; 3) максимальную молекулярную, которая соответствует такой влажности грунта, когда влага в нем удерживается только благодаря наличию молекулярного сцепления между частицами грунта и водой.

Полная и капиллярная влагоемкости для одного и того же вида грунта могут значительно изменяться в зависимости от его плотности, характера сложения и структуры.

Полная влагоемкость грунта определяется на образцах с ненарушенным естественным сложением, отобранных в полевых условиях в специальные кольца. Для сравнительной ориентировочной характеристики определение полной влагоемкости можно проводить на образцах с нарушенным сложением. В этих случаях образец сухого грунта помещают в латунный цилиндр, имеющий на дне металлическую сетку, закрытую кружком смоченной фильтровальной бумаги, и взвешивают, предварительно определив массу пустого цилиндра. Затем цилиндр с грунтом постепенно погружают в воду на такое время, чтобы произошло полное насыщение его водой, что будет заметно по потемнению поверхности образца. Цилиндр вынимают из воды, оставляют на 10—20 мин для стекания избытка воды, после чего дно его обтирают и производят взвешивание. Для контроля цилиндр с грунтом снова погружают в воду и по истечении нескольких часов взвешивают и определяют влажность грунта. Этим способом можно определять полную влагоемкость грунтов, не набухающих при увлажнении. Полную влагоемкость набухающих грунтов следует определять под нагрузкой.

Определение капиллярной влагоемкости грунта с нарушенной структурой отличается от установления полной влагоемкости только способом насыщения грунта водой. В этом случае цилиндр с грунтом не погружают в воду, а ставят на смоченную фильтровальную бумагу, соприкасающуюся с водой. Бумага впитывает по капиллярам воду и постепенно передает ее грунту. Этот метод определения капиллярной влагоемкости требует значительной затраты времени. Подсчет капиллярной влагоемкости проводится в том же порядке, как и полной влагоемкости.

Для выявления влияния плотности на величину капиллярной или полной влагоемкости указанные определения в том же порядке повторяют при различном уплотнении грунта. В случае отбора

проб грунта в специальные кольца-пробоотборники или из монолитов грунта капиллярную и полную влагоемкости можно определить для грунта с естественной структурой и сложением.

Определение максимальной молекулярной (пленочной) влагоемкости глинистых грунтов. Грунт, доведенный до воздушно-сухого состояния, размельчают и просеивают через сито с отверстиями 0,5 мм. Берут среднюю пробу массой около 50 г и смешивают грунт с водой до состояния густого теста.

На кусочек тонкого полотна или батиста кладут металлическую пластинку — шаблон толщиной 2 мм с круглым отверстием диаметром 5 см. Внутреннюю часть шаблона наполняют увлажненным грунтом. Избыток его удаляют, проводя ножом по поверхности шаблона. Шаблон снимают, а полученную лепешку из грунта прикрывают сверху вторым кусочком полотна или батиста.

Подготовленный образец помещают между двумя пакетами фильтровальной бумаги из 20 листов (диаметром 9—10 см каждый). На пакеты фильтровальной бумаги сверху и снизу накладывают металлические пластинки толщиной 5—6 мм со строго параллельными плоскостями. Зажатый между пластинками образец грунта помещают под гидравлический пресс и доводят нагрузку до 6,5 МПа, принимая площадь лепешки из грунта равной 20 см². Образец выдерживают под указанной нагрузкой в течение 10 мин, следя за тем, чтобы давление оставалось все время постоянным.

По окончании прессования удаляют пластинки и фильтровальную бумагу, а лепешку грунта, разломив на несколько частей, помещают в сушильный стаканчик для определения влажности грунта.

Полученную при этом влажность принимают за величину максимальной молекулярной (пленочной) влагоемкости данного грунта. Экспериментальными исследованиями установлено, что при этом часть воды находится в относительно свободном состоянии и защемлена в порах грунта капиллярными менисками.

Определение максимальной молекулярной влагоемкости песков производят путем заполнения изучаемым грунтом специального прибора или высокой трубки стеклянной. После стока избыточной воды отбирают пробы, по которым определяют влажность. Вода при одинаковой влажности грунта в верхней части трубки будет характеризовать максимальную молекулярную влагоемкость изучаемого песка.

Водопроницаемость грунта. Водопроницаемостью называют способность грунтов пропускать через себя воду, передвигающуюся под действием силы тяжести или гидростатического напора.

Скорость просачивания воды через толщу грунта в основном зависит от гранулометрического состава и степени уплотнения грунта, т. е. от величины пор. Песчаные грунты лучше пропускают воду, чем глинистые.

Значительное влияние на водопроницаемость оказывают структура и сложение грунтов. Самые тяжелые по гранулометрическому составу глинистые грунты могут оказаться водопроницаемыми, если они обладают трещиноватостью, резко выраженной водопроч-

ностью агрегатов и макропористым сложением (например, в черноземах и просадочных лёссовых грунтах). Наличие веществ, способных набухать при увлажнении (например, органических и минеральных коллоидов), уменьшает водопроницающую способность грунта.

Как показывают многочисленные наблюдения и теоретические расчеты, фильтрация воды через грунт подчиняется закону Дарси (см. гл. VI, § 4).

Количество воды Q , проходящее через 1 см^2 слоя грунта толщиной l в единицу времени, при прочих равных условиях прямо пропорционально разности давлений (напоров) $H_1 - H_2$, под влиянием которых происходит движение воды, и обратно пропорционально толщине слоя.

Скорость фильтрации воды зависит от ее вязкости и с повышением температуры увеличивается. На нее влияет также размер зерен грунта: для песчаных грунтов она примерно пропорциональна квадрату среднего диаметра зерен (табл. 7).

Таблица 7

Коэффициенты фильтрации различных грунтов

Грунт	Эффективный диаметр частиц d_{10} , мм	Коэффициент фильтрации k , м/сут
Песок речной мелкий	0,12	10,2
» » средний	0,14	16,4
» » крупный	0,28	52,7
» слюдястый	0,49	11,2
» дюнный	0,19	15,9
Торф	—	$6,5 \cdot 10^{-2}$
Пылеватый грунт	—	$0,8 \cdot 10^{-4}$
Глина пылеватая	—	$0,9 \cdot 10^{-5}$
» жирная	—	$0,5 \cdot 10^{-6}$

Примечание. Для торфа, пылеватого грунта и глины пылеватой и жирной эффективный диаметр частиц не определяется.

Глины и тяжелые суглинки при условии максимального их уплотнения в земляном полотне практически водонепроницаемы. Песчаные грунты, как видно из приведенных примеров, способны быстро впитывать и фильтровать воду. Способность песчаных грунтов быстро отводить воду широко используется в дорожном и аэродромном строительстве при устройстве дренажных слоев в основаниях покрытий.

Определение коэффициента фильтрации песка при стандартной плотности. Коэффициент фильтрации песка k является эмпирическим показателем и выражает зависимость между скоростью фильтрации v воды в грунте (средняя скорость течения воды, отнесенная к поперечному сечению фильтрующего грунта) и гидравлическим градиентом i (отношение напора воды к длине пути фильтрации) при условии ламинарного характера течения воды, т. е. $v = ki$, а следовательно $k = v/i$.

При гидравлическом градиенте $i=1$ коэффициент фильтрации грунта равен скорости фильтрации воды в грунте.

Коэффициент фильтрации песчаных грунтов определяют на приборе конструкции Союздорнии и др. Коэффициент фильтрации песка на приборе Союздорнии можно определять при постоянном напоре воды на пробах песка как естественного, так и нарушенного сложения и уплотненных до стандартной плотности при оптимальной влажности.

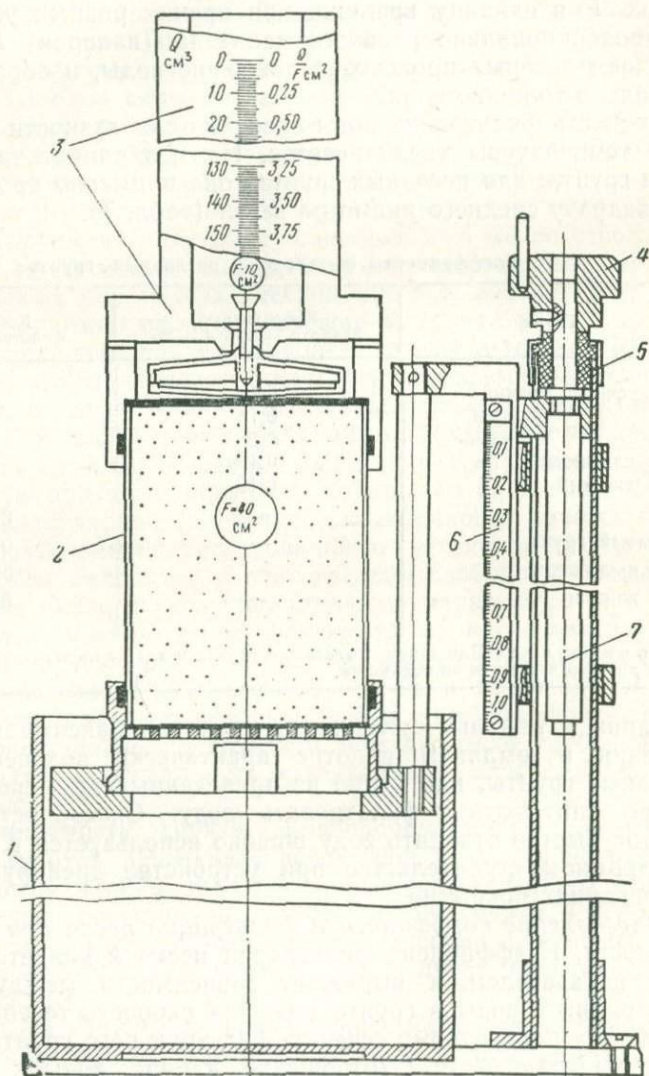


Рис. 27. Прибор для определения коэффициента фильтрации песков

Прибор Союздорнии (рис. 27) состоит из корпуса 1, фильтрационного цилиндра из нержавеющей стали для пробы песка 2, мерного для воды сосуда из оргстекла со шкалой 3, специального винтового телескопического приспособления 7 с штурвалом 4 и втулкой 5, позволяющего устанавливать фильтрационный цилиндр на необходимый гидравлический градиент по шкале 6.

Перед испытанием предварительно производится стандартное уплотнение пробы песка в фильтрационном цилиндре 2 устанавливаемом в специальное уплотняющее устройство, состоящее из гири массой 1 кг, для трамбования, направляющего стержня, наковальни и ограничителя высоты подъема гири.

При определении коэффициента фильтрации песка с ненарушенным сложением пробу песка отбирают в фильтрационный цилиндр 2, заостренный в нижней части.

Определение фильтрации песка на пробах после стандартного уплотнения или естественного сложения производят по методике, разработанной Союздорнии.

По результатам испытаний вычисляют коэффициент фильтрации, пользуясь формулой:

$$k_{10} = (Q \cdot 864) / (TFir),$$

где k_{10} — коэффициент фильтрации, приведенный к температуре 10 °С; Q — расход воды; T — время фильтрации воды; F — площадь поперечного сечения цилиндра (40 см²); i — гидравлический градиент; r — температурная поправка (0,7 + 0,03 t °С, где t °С — температура воды при опыте); 864 — переводный коэффициент (из см/с в м/сут).

Коэффициент фильтрации k_{10} выражают в целых единицах при его значении более 5 м/сут и с точностью до десятых при меньших значениях. При коэффициенте фильтрации более 5 м/сут пески являются хорошим фильтрующим материалом.

Водоподъемная способность грунтов. Способность грунтов поднимать капиллярную воду от уровня свободной поверхности воды вверх или в стороны называется водоподъемной способностью. Это свойство связано с наличием в грунтах сложной системы капиллярных пор различного размера и формы. Капиллярное перемещение воды в грунтах подчиняется следующим законам физики: 1) передвижение воды по капиллярным промежуткам в грунтах или других пористых телах зависит от силы тяжести незначительно; 2) направление движения воды по капиллярам пористого тела или грунта происходит всегда в направлении, противоположном уровню воды; 3) высота капиллярного поднятия воды обратно пропорциональна диаметру капилляра (чем меньше диаметр капилляра, тем больше высота капиллярного поднятия); 4) перемещение воды по капилляру происходит тем медленнее, чем меньше диаметр капилляра; 5) капиллярное перемещение воды (или другой жидкости) зависит от ее вязкости, поэтому с повышением температуры высота капиллярного поднятия воды уменьшается, а скорость значительно увеличивается.

Водоподъемная способность грунтов зависит от ряда факторов, среди которых наиболее важное значение имеют гранулометрический, агрегатный и минеральный состав грунта, степень первоначального увлажнения и другие особенности.

Пылеватые супеси и суглинки, обладающие мелкими порами, особенно если они плотные, отличаются значительной высотой капиллярного поднятия, однако меньшей, чем она может быть получена расчетом, исходя из размеров их пор. Движение капиллярной воды в таких грунтах происходит весьма медленно.

Глины, особенно при сильном уплотнении, характеризующиеся наиболее тонкой капиллярной пористостью, дают наибольшие отклонения от указанных закономерностей. Капиллярное поднятие в глинах достигает меньшей высоты, чем в пылеватых суглинках, и не превышает 1,5—2 м. Такое отклонение в капиллярных свойствах является следствием сильного набухания глинистых частиц, повышения вязкости воды в тонких порах, наличия в них заземленного воздуха и ряда других причин. При этом вода, покрывая тонкой пленкой глинистые частицы или их микроагрегаты, как бы закупоривает (кольматирует) тончайшие волосные промежутки между ними.

По этой причине в действительности наибольшая высота капиллярного поднятия наблюдается в грунтах, средних по гранулометрическому составу и с неплотным сложением: в покровных суглинках и лёссовидных грунтах. В таких грунтах капиллярная вода поднимается на высоту 2—3 м в течение 6—12 мес.

Опытным путем А. С. Коссович установил максимальное капиллярное поднятие воды для лёсса, за два года достигшее высоты 4 м. В песчаных грунтах, характеризующихся крупными порами, капиллярный подъем воды происходит быстро, но на высоту, редко достигающую 50 см.

Большие отклонения в высоте капиллярного поднятия воды и скорости ее передвижения могут происходить в результате влияния коллоидно-химических свойств грунта, наличия в грунте обменного натрия или кальция, гумусовых веществ или растворимых в воде солей. Так, присутствие в грунте обменного натрия (в солонцах) приводит к разрушению микроагрегатов грунта, вызывает сильное набухание глинистых частиц, в результате чего мельчайшие поры заполняются пленками прочно связанной воды, что приводит к прекращению капиллярного передвижения воды.

Наличие в грунтах обменного кальция (например, в черноземах) способствует образованию прочных микроагрегатов и более крупных капиллярных пор. Скорость и высота капиллярного поднятия воды в таких грунтах резко возрастают по сравнению с солонцами.

Наиболее распространенный способ сравнительного определения водоподъемной способности заключается в непосредственном наблюдении за капиллярным поднятием воды в грунте с нарушенной структурой. Грунт после его размельчения загружают в высокую (до 2 м) стеклянную трубку. Нижний конец ее обматывают мар-

лей и погружают в воду, уровень которой во время опыта поддерживают постоянным. При этом проводится наблюдение за высотой и скоростью капиллярного поднятия в исследуемом грунте, что отмечается по его потемнению. Более достоверные данные о капиллярных свойствах грунта получают при изучении его на грунтах естественного сложения и структуры.

Многочисленными опытами установлено, что с высотой капиллярного поднятия уменьшаются скорость передвижения воды и влажность капиллярно увлажненного грунта.

Передвижение воды в грунтах под суммарным действием капиллярных сил и сил впитывания пленочной влаги играет большую роль в накоплении влаги в земляном полотне. На известной высоте от уровня грунтовых вод под влиянием указанных сил может происходить повышение влажности грунта выше границы раскатывания. При этом грунт переходит в пластичное состояние, и устойчивость его под нагрузкой значительно снижается.

Чтобы ограничить увеличение влажности в верхних слоях земляного полотна в результате подсосывания воды снизу от уровня грунтовых вод, необходимо обеспечить достаточное возвышение бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод или прекратить капиллярный поднос воды путем устройства капилляро-прерывающих прослоек.

Размокание грунтов. Размоканием называют способность грунтов при погружении в воду терять связность и превращаться в массу, не оказывающую сопротивления прикладываемым к ней нагрузкам.

Размокание глинистых грунтов характеризует степень их устойчивости в основаниях сооружений при увлажнении или сопротивляемость размывающему действию текучей воды в придорожных канавах и откосах насыпей и выемок. Скорость и характер размокания грунтов зависит от содержания глинистых, в том числе гумусовых, частиц и водорастворимых солей, степени уплотнения, первоначального увлажнения и т. п.

Процесс размокания грунтов изучают как на образцах с ненарушенным сложением, так и на специально сформированных. Наблюдения проводят с учетом времени размокания образцов и характера их распада в воде.

В некоторых случаях испытывают образцы и на размокание, и на размывание путем воздействия на них потоком воды с различной скоростью, что позволяет оценивать устойчивость откосов грунта в насыпях и выемках.

§ 4. Роль воды при использовании грунтов в дорожном строительстве

Вода, заключенная в порах грунта (поровая вода), в зависимости от ее относительного содержания и состояния, в котором она находится, придает грунту различные свойства, характеризующие его как сыпучее, твердое, полутвердое, пластичное или текучее тело. В зависимости от количества воды в порах она может

способствовать повышению устойчивости грунта под нагрузкой, т. е. являться положительным фактором, и, наоборот, при большом увлажнении делать его текучим и тем самым являться отрицательным фактором, препятствующим использованию грунта в сооружениях.

По степени влияния на физико-механические свойства грунта условно различают влажность: 1) недостаточную, 2) оптимальную, 3) избыточную и 4) опасную, или вредную.

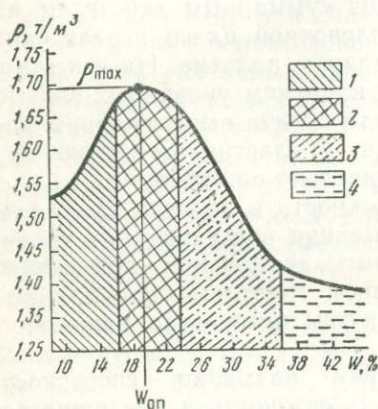


Рис. 28. Изменение плотности и консистенции тяжелого суглинистого грунта в зависимости от его влажности:

Консистенция грунта: 1 — твердая и тугопластичная; 2 — мягкопластичная и текучеэластичная; 3 — текучая. Точка на кривой характеризует максимальную плотность и оптимальную влажность

Оптимальная влажность $W_{оп}$ находится в интервале между максимальной молекулярной влагоемкостью и границей раскатывания. Вода в этих пределах увлажнения частично находится еще под действием молекулярных сил. При использовании оптимально увлажненного грунта в основаниях сооружений или насыпях грунт плотный, его поры заполнены физически связанной малоподвижной водой. Это придает грунту большую устойчивость под нагрузкой и малую водопроницаемость (рис. 28). При оптимальной влажности грунт крошится и хорошо поддается разработке резанием, а при его уплотнении достигает максимальной плотности при сравнительно небольшой затрате работы. На грунтовых дорогах грунт при оптимальной влажности имеет беспыльную поверхность, хорошо сопротивляется вертикальным нагрузкам и уплотняется от проезда автомобилей.

Уплотненные при оптимальной влажности до максимальной плотности глинистые грунты после высыхания влаги сохраняют

Недостаточная влажность колеблется в пределах от гигроскопической до двойной максимальной гигроскопической влажности. В этих пределах влажности глинистые грунты в природном залегании твердые и потому в основании инженерных сооружений или насыпях они устойчивы, особенно если грунт предварительно уплотнялся при оптимальной влажности до максимальной плотности. При недостаточной влажности на грунтовых дорогах происходит сильное пылеобразование, глинистые грунты при недостаточной влажности трудно разрабатываются, а при укатке плохо уплотняются и требуют большой затраты работы на уплотнение. Песчаные грунты при недостаточной влажности разрабатываются легко, но находятся в сыпучем состоянии, что сильно затрудняет проезд по ним.

большую связность и приданную им плотность и обладают большой прочностью.

Избыточная влажность находится в пределах выше $W_{оп}$ и ниже W_L . В этом интервале влажности грунт оказывает крайне ничтожную сопротивляемость нагрузкам. При влажности выше оптимальной глинистые грунты приобретают липкопластичную консистенцию. Производство земляных работ вследствие налипания грунта на рабочие части механизмов становится крайне затруднительным или совсем невозможным. Уплотнять грунт или смешивать его с вяжущими материалами при такой влажности нельзя. На грунтовых дорогах проезд затрудняется из-за образования грязи, колеиности, налипания грунта на колеса. Уплотнить грунт до оптимальной плоскости в таком состоянии практически невозможно. Эти отрицательные явления возникают потому, что в грунте при избыточном увлажнении часть воды находится в свободном легкоподвижном состоянии.

Опасная, или вредная, влажность, при которой отрицательные свойства свободной воды достигают максимального выражения, соответствует влажности выше границы текучести.

При этой влажности грунт находится в текучем состоянии и обладает ничтожной устойчивостью под нагрузкой в основании сооружений. Разрабатывать такой грунт резанием и уплотнять его невозможно. На грунтовых дорогах, проложенных на суглинках и особенно глинах, при такой степени увлажнения наступает полная распутица и проезд по ним в это время становится крайне затруднительным.

§ 5. Водный и тепловой режим земляного полотна и его регулирование

Совокупность природных факторов, влияющих на распределение влаги и температуры в земляном полотне в разные периоды года, принято называть его водно-тепловым режимом. В зависимости от характера водно-теплого режима устойчивость земляного полотна может сильно изменяться. Отсюда возникает практическая необходимость не только изучать и учитывать факторы, обуславливающие этот режим, но и принимать действенные меры по его регулированию; в частности, контролировать поступление влаги в грунт и не допускать накопления ее свыше установленных пределов.

Важнейшими факторами, влияющими на изменения влажности земляного полотна, являются: 1) климатические условия местности; 2) колебания температуры в теле земляного полотна; 3) свойства грунтов; 4) уровень грунтовых вод с учетом его колебания в течение года.

На значительной части территории СССР (II—III дорожно-климатические зоны) водно-тепловой режим земляного полотна характеризуется следующими особенностями: 1) в осенний период происходит первоначальное накопление влаги; 2) в зимний

период — промерзание и интенсивное перераспределение влажности; 3) в весенний период происходит оттаивание и максимальное накопление влаги в верхней части; 4) в летний период — значительное просыхание.

Все перечисленные периоды увлажнения взаимно связаны и представляют собой единый динамический процесс передвижения влаги в земляном полотне, происходящий под действием окружающей среды.

Как было указано, грунты являются устойчивыми в земляном полотне или в основании сооружений лишь в пределах влажности, немного превышающей оптимальную, и при условии, что они плотные. Дальнейшее повышение влажности, особенно в осенне-зимний период, приводит к избыточному, или опасному, увлажнению земляного полотна и, как следствие этого — к деформации дорожной одежды или сооружения.

Таким образом, для создания благоприятного водно-теплового режима, обеспечивающего устойчивое состояние земляного полотна, необходимо придать грунтам максимальную плотность и влажность, не превышающую оптимальную.

Уплотнение грунтов до максимальной плотности, как правило, нарушает естественное сложение и сближает их частицы, создает сплошную сеть тонких капилляров и устраняет крупные поры. В плотном состоянии глинистый грунт с большим трудом и крайне медленно впитывает воду.

При близком залегании уровня грунтовых вод в суглинистых и пылеватых грунтах создается возможность их переувлажнения в результате капиллярного передвижения влаги до уровня грунтовых вод. Осенью и зимой по мере увеличения глубины промерзания происходит сравнительно быстрый подсос и накопление влаги в верхних слоях грунта.

В районах, где зимой происходит промерзание грунта, большое значение имеет миграция влаги (перераспределение) под действием отрицательных температур. На большое значение миграции влаги указывает тот факт, что в центральных и северных районах СССР влажность верхнего слоя пылеватых суглинистых грунтов в период оттаивания в 1,5—2 раза больше, чем до их замерзания.

Радикальным мероприятием, устраняющим перемещение капиллярной влаги из нижних слоев грунта к поверхности земляного полотна, является устройство на глубине 0,8—1 м изолирующих прослоек, прерывающих капиллярное передвижение воды. Такие прослойки можно устраивать из крупнозернистых грунтов, не обладающих капиллярной способностью (гравий, крупнозернистый песок). Более надежно устройство изолирующей прослойки из грунта, обработанного битумом или дегтем.

Пучины на дорогах и борьба с ними. Осенью земляное полотно автомобильных дорог в центральных и северных районах СССР в случае недостаточного возвышения его над окружающей местностью и плохом водоотводе, значительно увлажняя-

ется вследствие выпадения большого количества атмосферных осадков и незначительности испарения. Вода может проникать в земляное полотно через покрытие, если оно пористое, обочины, откосы и дно кюветов.

Зимой, особенно при неблагоприятных гидрогеологических условиях, влажность верхней части земляного полотна еще более увеличивается за счет миграции воды из более глубоких слоев. В связи с переходом содержащейся в грунте воды из жидкого состояния в твердое его объем увеличивается в соответствии с количеством образовавшегося в грунте льда.

В результате этого зимой во многих местах на дороге, где не обеспечен водоотвод и уровень грунтовых вод превышает допустимый по техническим нормативам, проявляется взбугривание (вспучивание). Величина вспучивания может достигать 25 см (в редких случаях 40 см). Такие местные взбугривания земляного полотна, а вместе с ним и покрытия называют пучинами. В местах их образования весной при оттаивании мерзлого земляного полотна грунт, подстилающий дорожную одежду, превращается в подвижную текучую массу (за счет запаса влаги, накопленного в осенне-зимний период). Поэтому при проезде автомобилем происходят разрушения и проломы дорожной одежды, иногда с выдавливанием на поверхность дороги разжиженного грунта верхней части земляного полотна.

Для устранения возможности образования пучин при постройке автомобильных дорог необходимо устраивать земляное полотно в насыпи такой высоты и из грунтов такой плотности, чтобы залегающие ниже грунтовые воды не могли влиять на переувлажнение верхней части земляного полотна путем капиллярного подсоса воды при его промерзании. Большое значение при этом имеют мероприятия по устройству дренирующего слоя, уплотнению грунта и обеспечению отвода поверхностной воды из боковых канав. При точном соблюдении технических требований, установленных строительными правилами (СНиП II-Д. 5—72), а также указаниями по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог (СН 449—72) пучины на дорогах не возникают. Эффективными способами борьбы с ними на дорогах является также устройство теплоизолирующих слоев, водо- и паронепроницаемых прослоек (например из пластмасс), а также прослоек, прерывающих капилляры.

Глава XII

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

§ 1. Понятие об устойчивости грунтов под нагрузкой

Под устойчивостью грунтов следует понимать способность их воспринимать те или иные нагрузки без образования деформаций сжатия или сдвига выше допустимых пределов.

Устойчивость грунтов — величина переменная и в основном зависит от степени их влажности, плотности и пористости. При этом влажность и пористость грунта, соответствующие максимальной его устойчивости для каждой категории грунта весьма различны и зависят от генезиса грунта, его химико-минерального и гранулометрического состава и других особенностей.

В естественных условиях залегания общий объем пор в глинистых грунтах может превышать объем твердой скелетной части грунта, а величина отдельных пор может быть больше размера отдельных частиц. Воздействие даже небольших нагрузок на такие неуплотненные грунты приводит к резкому уменьшению пористости грунта за счет перемещения и сдвига отдельных частиц в общей массе грунта. Уплотнение таких грунтов в значительной мере ускоряется и увеличивается при их увлажнении. Вода, заполняя поры грунта, ослабляет связь между частицами, что резко уменьшает давление, требующееся для выведения грунтовых частиц из основания равновесия.

С увеличением общего объема и величины отдельных пор, заполненных водой, устойчивость глинистых грунтов непрерывно снижается и при заполнении всех пор свободной водой становится практически ничтожной. Устойчивость песчаных (особенно крупнозернистых песков) и крупнообломочных грунтов даже при полном заполнении пор водой изменяется незначительно. Пески обладают малой сжимаемостью и не уменьшаются в объеме при высыхании. Пористость является важнейшей физической характеристикой грунтов.

Пористостью грунта называют отношение объема пор между частицами грунта к общему его объему (включая и объем пор), выраженное в процентах. Пористость грунтов зависит от гранулометрического состава, формы и взаимного расположения частиц, а в структурных грунтах, кроме того, от величины и формы структурных и микроструктурных отдельных частей, а также от природной или искусственным путем достигнутой степени уплотнения грунта.

Грунты в природных условиях обычно представляют собой трехфазную систему, состоящую из: 1) частиц грунта (скелет грунта), 2) воды и 3) воздуха. Поэтому поры грунта обычно бывают заполнены воздухом и водой, причем их соотношение часто меняется.

Если принять объем всего грунта за единицу, часть его, занятую твердыми частицами, обозначить через m , а часть, приходящуюся на поры (которые могут быть заполнены водой и воздухом), через n , то объем твердой фазы грунта m может быть вычислен, если известны плотность частиц грунта ρ_s и плотность сухого грунта (твердой фазы) ρ_d :

$$m = \rho_d / \rho_s. \quad (1)$$

Исходя из этого и принимая во внимание уравнение (1), объем пор n в единице объема грунта равен:

$$n = 1 - (\rho_d / \rho_s), \quad (2)$$

или, выражая объем пор в процентах от всего объема грунта, получаем значение пористости:

$$n = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}\right) \cdot 100\%.$$

Объем, занимаемый грунтом, не является величиной постоянной, он изменяется в широких пределах в зависимости от внешнего давления или других условий. Так как при изменении общего объема, занимаемого грунтом, объем его твердой фазы m остается постоянным, а изменяется только объем пор n , то величину пористости в механике грунтов принято относить не к общему объему всего грунта, а к объему его твердой фазы m . Получаемая, таким образом, характеристика пористости носит название коэффициента пористости e и обычно выражается не в процентах, а в долях единицы

$$e = n/m$$

или

$$e = n/(1 - n).$$

Если же подставить значение n из уравнения (2), то получим:

$$e = (\rho_s - \rho_d)/\rho_d.$$

Коэффициент пористости грунта, все поры которого заполнены водой, численно равен произведению весовой влажности грунта (выраженной в долях единицы) на плотность частиц грунта:

$$e = W\rho_s.$$

§ 2. Зависимость между давлением и пористостью

Давление, оказываемое на грунт сверху, при условии, что он не может испытывать бокового расширения, вызывает уменьшение пористости (коэффициента пористости) грунта. Сжимаемость грунта в значительной мере зависит от его начальной пористости и величины прилагаемого давления. Чем меньше величина первоначального уплотнения грунта и чем больше величины уплотняющей нагрузки, тем больше он сжимается.

Если изобразить в прямоугольных координатах зависимость между коэффициентом пористости e и прилагаемой внешней нагрузкой P_n , то получится кривая, называемая компрессионной (рис. 29).

В практике строительства при относительно небольших нагрузках на грунт зависимость между коэффициентом пористости и давлением с достаточной для практических целей точностью можно принять за

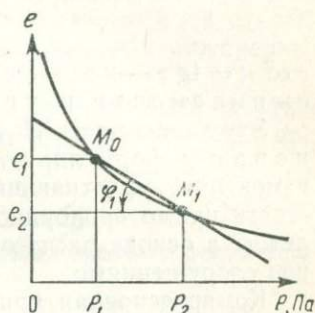


Рис 29. Компрессионная кривая

прямолинейную. В этом случае, если нагрузка на грунт изменится от P_1 (см. рис. 29) до P_2 , то отрезок кривой между этими точками без большой погрешности можно принять за прямую M_0M_1 . Тогда зависимость изменения коэффициента пористости от изменения нагрузки будет выражаться уравнением:

$$e_1 - e_2 = a(P_2 - P_1),$$

где $a = \operatorname{tg} \varphi$ — коэффициент уплотнения (коэффициент сжимаемости и угловой коэффициент).

Эту зависимость Н. А. Цытович называет законом уплотнения и формулирует его следующим образом: при небольших изменениях уплотняющих давлений вариации коэффициента пористости прямо пропорциональны изменению давления. Это правило лежит в основе расчетов по определению величины осадки грунта под сооружениями.

Компрессионная кривая характеризует зависимость между величиной прилагаемого давления и пористостью грунта или, при заполнении всех пор водой, его влажностью.

Если грунт увлажнен настолько, что все его поры заполнены водой, то приложение нагрузки вызовет уменьшение объема пор, а вода, заполняющая поры, будет отжиматься наружу. При приложении нагрузки к песчаному грунту этот процесс протекает быстро, а если подвергать давлению водонасыщенный глинистый или суглинистый грунт, то вода из него отжимается очень медленно, и сжатие такого грунта, связанное с уменьшением пористости, также происходит длительное время. При этом давление, приложенное к грунту, в первый момент воспринимается водой, заполняющей поры грунта.

По мере отжатия воды, нагрузка начинает восприниматься непосредственно твердой фазой грунта. С течением времени (для песков очень быстро, а для глин очень медленно) нагрузка, воспринимаемая твердой фазой, возрастает, а нагрузка, передаваемая на воду, соответственно уменьшается.

В момент, когда нагрузка полностью воспринимается твердой фазой грунта и отжатие воды прекращается, наступает равновесие между внешним давлением на грунт и реакцией грунтовых частиц, удерживающих вокруг себя и в порах известное количество воды, т. е. осадка грунта прекращается. Если после этого приложить новую ступень нагрузки, превышающую силы сопротивления скелета грунта, то наступившее равновесие нарушается.

Изменение влажности грунта, происходящее под действием нагрузки, вызывает соответствующее уменьшение его пористости. Так как коэффициент пористости водонасыщенного грунта численно равен весовой влажности, умноженной на плотность частиц грунта, то на кривой зависимости коэффициента пористости от давления вместо коэффициента пористости можно откладывать весовую влажность грунта. Кривая зависимости влажности грунта от давления также называется компрессионной кривой.

Установление зависимости влажности грунта от давления имеет большое практическое значение и характеризует изменение свойств грунта в основаниях сооружений в результате действия нагрузки.

§ 3. Трение и сцепление. Сопротивление грунтов сдвигу

Сопротивление сдвигу является одной из важнейших характеристик грунта, так как характеризует устойчивость его в откосах выемок и насыпей, а также в основаниях различных инженерных сооружений.

В грунтовом массиве при приложении к нему внешней нагрузки могут возникать касательные напряжения, в результате чего происходит взаимное перемещение (сдвиг) частиц, носящее необратимый пластический характер. С ростом нагрузки деформация сдвига может постепенно захватывать крупные массивы грунта, что приводит к разрушению устойчивости грунтовых откосов, а иногда и инженерных сооружений. Примеры деформаций, вызываемых сдвигом грунта, приведены на рис. 30.

Сопротивление сыпучих грунтов сдвигу — есть их сопротивление трению. Эта зависимость (закон) установлена Кулоном в 1773 г. и может быть сформулирована следующим образом: сопротивление сыпучих грунтов сдвигу — это сопротивление трению, прямо пропорциональное нормальному давлению.

Сопротивление глинистых грунтов сдвигу обуславливается двумя причинами: 1) внутренним трением и 2) сцеплением.

Причиной трения между двумя поверхностями является наличие на них шероховатостей. С увеличением давления трущиеся тела сближаются и трение между ними увеличивается. В грунтах трение возникает между отдельными частицами в точках их контакта.

При заполнении пор водой трение между частицами грунтов, особенно глинистых и суглинистых, резко уменьшается, так как вода играет роль смазки. Кроме того, тонкие частицы грунта, способные к набуханию, увеличиваясь в объеме, как бы раздвигаются, причем пленки воды, удерживаемые на поверхности грунтовых частиц силами молекулярного притяжения, сглаживают шероховатости отдельных частиц или их микроагрегатов. Поэтому трение в увлажненных глинистых грунтах очень мало.

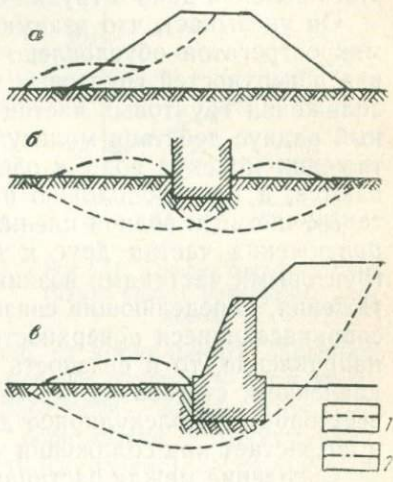


Рис. 30. Деформация сдвига грунтов в различных сооружениях:

а — сползание откоса насыпи; *б* — выпирание грунта из-под опоры сооружения; *в* — нарушение откоса и выпирание грунта из основания подпорной стенки. 1 — поверхность скольжения; 2 — вал выпирания

Сцепление, которое обеспечивает связность грунтов, в начальный период развития механики грунтов объяснялось исключительно наличием в тонких порах сил капиллярного давления. Считалось, что при наличии свободной гравитационной воды сцепление в грунтах наименьшее; по мере удаления воды из грунта в нем образуются вогнутые мениски капиллярной воды. Вследствие стягивающего действия менисков частицы грунта сближаются и получают связность.

Указанное объяснение связности грунтов не исчерпывает всех сложных явлений взаимодействия между твердыми частицами и окружающей их пленочной водой. Более правильное объяснение этого явления дано в трудах советского ученого Н. М. Герсеванова.

Он указывает, что взаимное притяжение грунтовых частиц или микроагрегатов обусловлено силами молекулярного взаимодействия поверхности грунтовых частиц и пленок связанной воды при сближении грунтовых частиц на расстояние меньшее, чем удвоенный радиус действия молекулярных сил. В этом случае силы притяжения молекул воды к обоим грунтовым частицам уравновешиваются, а противоположно направленные силы притяжения грунтовых частиц к водной пленке действуют в направлении взаимного притяжения частиц друг к другу. Таким образом, между всеми грунтовыми частицами возникают внутренние силы взаимного притяжения, определяющие связность грунта. Так как в массе грунта соприкасающиеся поверхности частиц имеют самое разнообразное направление, то и связность может быть выражена всесторонним давлением, стягивающим все частицы между собой. Создающееся всестороннее молекулярное давление зависит от плотности грунта и возрастает при сближении частиц.

Сцепление между частицами или их микроагрегатами тем больше, чем больше контактов между частицами. По этой причине в глинах связность достигает наибольшей величины, а в чистых песках она практически отсутствует. Помимо сил молекулярного притяжения и капиллярного давления в связных глинистых грунтах причиной возникновения сцепления может быть действие естественных цементов, особенно коллоидных гелей и нерастворимых в воде солей.

Спротивление грунта сдвигающим усилиям может быть охарактеризовано коэффициентом внутреннего трения и сцепления.

Под коэффициентом внутреннего трения f понимается коэффициент пропорциональности между вертикальным уплотняющим давлением и частью сопротивления сдвигу, вызываемого внутренним трением. Для каждого грунта коэффициент внутреннего трения f может считаться величиной постоянной. Часть сопротивления сдвигу, вызываемая силами трения, не зависит от величины площади, на которую передается вертикальное давление, а зависит только от величины силы P_n . Если построить график зависимости сопротивления сдвигу грунта от величины вертикального давления на него (рис. 31), то коэффициент внутреннего трения может быть представлен как тангенс угла наклона к оси абс-

чисс прямой, характеризующей возрастание сопротивления сдвигу по мере увеличения вертикального давления на грунт:

$$f = \operatorname{tg} \varphi,$$

где φ — угол внутреннего трения.

Под величиной сцепления c (см. рис. 31) понимается часть сопротивления сдвигу в грунте, которая не зависит от вертикального давления P . Сцепление измеряется в паскалях. Часть общего сопротивления сдвигу, вызываемая силами сцепления, зависит от величины площади, по которой происходит сдвиг грунта, и может быть выражена как произведение сцепления на величину площади сдвига.

Прочность глинистых грунтов, в том числе и сопротивление их сдвигу, зависит от сил сцепления и внутреннего трения. По предложению Н. Н. Маслова, сопротивление глинистых грунтов сдвигу выражается формулой:

$$\tau = P \operatorname{tg} \varphi + c_1 + c_2,$$

где τ — сопротивление сдвигу, зависящее от нормального Давления и плотности — влажности; P — нормальное давление; φ — угол внутреннего трения, также зависящий от плотности — влажности; c_1 — связность (сцепление), обусловленная обратимыми структурными связями между частицами; c_2 — связность (сцепление), обусловленная необратимыми (кристаллизационными) связями между частицами.

Разделение сцепления на c_1 и c_2 трудно и не всегда возможно, поэтому их объединяют ($c_1 + c_2 = c$) и пользуются указанной выше формулой в более общем виде:

$$\tau = P \operatorname{tg} \varphi + c.$$

Коэффициент внутреннего трения и сцепление являются очень важными характеристиками, учитываемыми при расчете сопротивления грунтов горизонтальным и вертикальным силам, например при расчете дорожных одежд, устойчивости подпорных стенок, откосов, насыпей, выемок и т. д.

§ 4. Максимальная плотность и оптимальная влажность грунтов

Поверхностные слои грунтовой толщи в естественном залегании обычно представляют собой трехфазную систему: твердое вещество + вода + воздух. Содержание воды и воздуха в грунтах весьма изменчиво и может колебаться от долей процента до десятков процентов. От свойств частиц и величины пористости (объема, занимаемого в нем водой и воздухом) зависят физико-механические свойства грунта. В дорожных сооружениях (земляном полотне, покрытиях и основаниях дорожных покрытий) устойчивость грунта

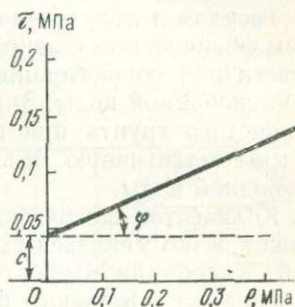


Рис. 31. График сопротивления грунта сдвигу при разных давлениях

тем больше, чем больше его плотность, т. е. чем меньше его пористость. В зависимости от степени заполнения пор водой глинистый грунт может переходить из устойчивого состояния в неустойчивое и наоборот, принимая при этом твердую, пластичную или текучепластичную консистенцию.

При рассмотрении условий устойчивости глинистых грунтов под нагрузкой консистенция грунта может быть подразделена более подробно в зависимости от влажности (см. гл. X, § 4).

Твердая и полутвердая консистенция грунта обусловлены наличием физически связанной пленочной воды; при полутвердой и тугопластичной консистенциях в грунте содержится некоторое количество свободной воды. Значительное снижение несущей способности глинистого грунта при переходе из тугопластичной консистенции в мягкопластичную объясняется дальнейшим ростом количества свободной воды.

Количество физически связанной и свободной воды в грунтах может резко меняться под влиянием климатических и других условий. Колебания относительных содержаний этих категорий воды определяют изменения физико-механических свойств грунта.

На основе учета положительных свойств физически связанной воды Н. И. Иванов, А. Ф. Лебедев и другие исследователи разработали теорию уплотнения связных грунтов. В результате проведенных исследований было установлено, что наибольшая устойчивость связного (глинистого) грунта может быть обеспечена лишь при условии уплотнения его до наибольшей максимальной плотности при оптимальной влажности, соответствующей данному грунту.

Под оптимальной влажностью $W_{оп}$ следует понимать влажность, при которой можно достигнуть максимальной плотности ρ_{max} , а следовательно, и минимальной пористости грунта при определенной затрате работы механизмов (катки, трамбовки) на уплотнение.

Оптимальная влажность и плотность могут изменяться в известных пределах, так как они зависят как от свойств уплотняемого грунта, так и от величины нагрузки, уплотняющей грунт (рис. 32, 33).

Если постепенно повышать влажность грунта, то при одной и той же величине работы, затрачиваемой на уплотнение грунта, плотность его вначале становится тем большей, чем больше его влажность. При определенной для каждого грунта влажности уплотнение грунта достигает максимума. Дальнейшее увеличение влажности при той же работе приводит к снижению плотности грунта. Максимум уплотнения грунтов достигается примерно при влажности грунта, несколько ниже влажности границы раскатывания.

Возможность значительного повышения прочности и устойчивости грунта путем его искусственного уплотнения различными способами доказана многочисленными исследованиями и практическими наблюдениями, а в настоящее время уплотнение стало

обязательным при возведении земляного полотна автомобильных и железных дорог, строительстве аэродромов, гидротехнических и других сооружений.

Установлено, что при искусственном уплотнении грунта вода при ее оптимальном содержании играет роль смазки, которая уменьшает трение между частицами и агрегатами, способствует их максимальному сближению и облегчает работу уплотнения. Однако положительная роль воды при уплотнении этим не исчерпывается. При механическом воздействии на оптимально водонасыщенный грунт большое значение имеют физико-химические процессы, которые в начальный период уплотнения проявляются в сни-

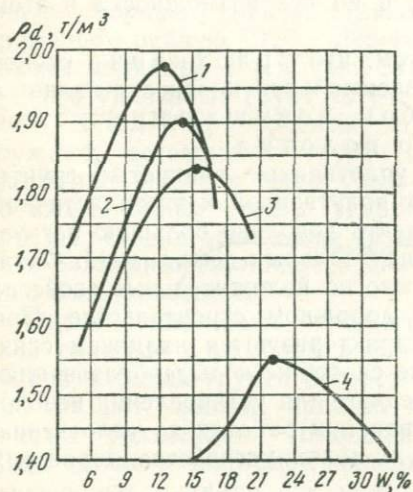


Рис. 32. Зависимость максимальной плотности от оптимальной влажности для различных типов грунтов:

1 — моренного суглинки; 2 — лёсса; 3 — покровной глины; 4 — чернозема тяжелосуглинистого

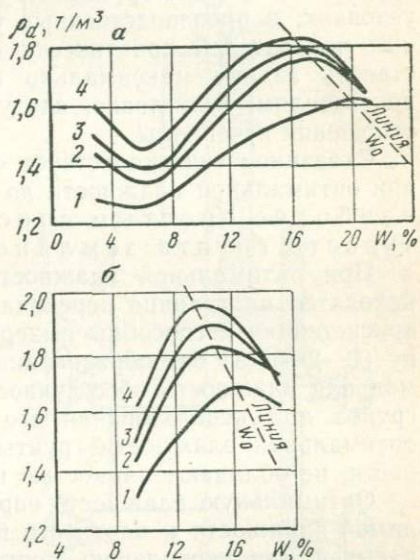


Рис. 33. Зависимость максимальной плотности и оптимальной влажности грунтов от затраченной работы на уплотнение трамбовкой:

а — для тяжелосуглинистого чернозема; б — для супеси. Число ударов (n) при уплотнении грунта: 1 — 30; 2 — 90; 3 — 180; 4 — 600

жении прочности и связности агрегатов и микроагрегатов, что является результатом расклинивающего действия тонких пленок воды и отчасти ее растворяющего действия. В новых микрizonaх при механическом сближении частиц и неразрушившихся прочных агрегатов под действием молекулярных сил и сил электростатического притяжения создаются новые, более прочные структурные связи с возросшим структурным сцеплением.

С увеличением работы, затрачиваемой на уплотнение, несколько уменьшается оптимальная влажность грунта (см. рис. 33). Это свидетельствует о том, что для каждого грунта оптимальная влаж-

ность не константа, а в определенных пределах является функцией прилагаемой нагрузки. Определяемые в лабораторных и производственных условиях значения оптимальной влажности и максимальной плотности грунтов являются промежуточными и зависят от используемого метода и оборудования. По мере совершенствования средств уплотнения грунта его плотность будет приближаться к предельной, однако предел практических возможностей уплотнения всегда наступит раньше, чем будут достигнуты полное разрушение микроагрегатной пористости и идеальная максимальная упаковка элементарных частиц. Из этого следует, что теоретически возможные максимальные плотности, а следовательно, и минимальная пористость каждого грунта могут быть достигнуты в лабораторных условиях; в производственных условиях достигнуть этих предельных показателей практически едва ли возможно. Тем не менее ставить задачу максимально возможного приближения к этим показателям, безусловно, следует, и не все возможности в этом отношении исчерпаны.

Сказанное свидетельствует о том, что уплотнение грунта при оптимальной влажности до максимальной плотности является и наиболее простым способом, повышающим устойчивость грунта земляного полотна.

При оптимальной влажности уплотненные глинистые грунты находятся на границе перехода от полутвердой к тугопластичной консистенции и способны выдерживать довольно большую нагрузку (1—2 МПа) без образования значительных деформаций. Оптимальная влажность обеспечивает многие положительные свойства грунта при использовании его в дорожном строительстве. При оптимальной влажности грунты характеризуются наличием связности, не обладают липкостью и не способны к пылеобразованию.

Оптимальную влажность определяют для установления необходимой влажности и плотности грунта при работах по уплотнению насыпей или укреплению грунтов в целях устройства дорожных оснований и покрытий.

Максимальную плотность и оптимальную влажность грунтов определяют в соответствии с ГОСТ 22733—77 (Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности), используя прибор Союздорнии для стандартного уплотнения грунтов (рис. 34). Этот прибор состоит из днища 9, разъемного цилиндра 8 объемом 1 л, кольца 6 закрепляющего цилиндр 8, насадки 5, наковальни 4, груза 3 массой 2,5 кг, направляющего стержня 2, ограничительного кольца 1 и зажимных винтов 7, закрепляющих разъемный цилиндр 8. Определение максимальной плотности и оптимальной влажности ведут в следующем порядке.

В металлическую чашку помещают среднюю пробу воздушно-сухого грунта, просеянного через сито с отверстиями 10 мм массой 2,5 кг. Пробу увлажняют водой в объеме: для супесей 4 %, для суглинков 8 % и для глин 10 %. Грунт тщательно перемешивают до равномерного увлажнения и берут из него среднюю пробу для определения влажности. Остальной грунт покрывают влажной

тканью. Затем определяют массу разъемного цилиндра q_1 и проверяют его объем V , который должен быть равен 1000 мл. Прибор для стандартного уплотнения собирают с таким расчетом, чтобы концы зажимных винтов 7 (см. рис. 34) попали в углубления, имеющиеся в верхней и нижней частях цилиндра.

Заполняют цилиндр грунтом на $1/3$ его объема, ставят на поверхность грунта диск наковальни 4 и уплотняют каждый слой грунта 40 ударами груза массой 2,5 кг, падающего с высоты 30 см. При уплотнении стержень трамбовки 2, необходимо удерживать в вертикальном положении. После уплотнения первого слоя в прибор загружают следующую порцию грунта, также примерно равную $1/3$ общего объема цилиндра 8 (см. рис. 34) и снова уплотняют грунт 40 ударами. Затем в прибор снова загружают оставшийся грунт и уплотняют его, как было указано выше. Общее число ударов при уплотнении трех слоев грунта в разъемном цилиндре 8 должно быть равным 120.

После уплотнения третьего слоя снимают с прибора насадку 5 и избыток грунта осторожно срезают ножом вровень с краями разъемного цилиндра. Сняв днище и зажимное кольцо, взвешивают цилиндр 8 с уплотненным грунтом (масса q_2). Плотность грунта вычисляют по формуле:

$$\rho_w = (q_2 - q_1)/V.$$

После взвешивания грунт из цилиндра переносят обратно в чашку, разминают его и добавляют новую порцию воды в количестве 1—2 % для супесчаных, песчаных и крупнообломочных грунтов и 2—3 % для суглинков и глин, и после тщательного перемешивания берут среднюю пробу на влажность. Затем производят послойное уплотнение пробы грунта в приборе, соблюдая описанный порядок.

Определив снова плотность влажного грунта после уплотнения, добавляют следующую порцию воды в указанном выше количестве и производят уплотнение. Операции по уплотнению грунта

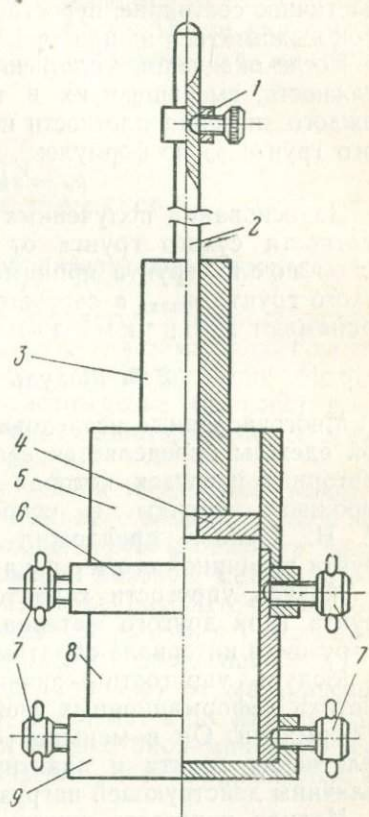


Рис. 34. Прибор Союздорнии для стандартного уплотнения грунтов

с увеличением его влажности на 2—3 или 1—2 % повторяют до тех пор, пока его плотность не начнет уменьшаться.

О прекращении уплотнения грунта судят как по уменьшению плотности влажного грунта, так и по его консистенции. С переходом интервала оптимальной влажности грунт приобретает мягкопластичное состояние, перестает уплотняться и начинает при ударах гири выжиматься из прибора.

После окончания уплотнения определяют для всех взятых проб влажность, высушивая их в термостате до постоянной массы. Для каждого значения плотности и влажности вычисляют плотность сухого грунта ρ_d по формуле:

$$\rho_d = \rho_w / (1 + 0,01W).$$

На основании полученных данных строят кривую зависимости плотности сухого грунта от влажности. За максимальную плотность грунта принимают наибольшее значение плотности сухого грунта ρ_{max} , а соответствующую этой плотности влажность принимают за оптимальную влажность $W_{оп}$ (см. рис. 28).

§ 5. Модуль упругости грунтов

Многочисленные исследования показали, что прочность дорожной одежды определяется величиной ее прогиба при воздействии повторных нагрузок, которая в свою очередь зависит от жесткости дорожной одежды и сопротивления подстилающего грунта. Н. Н. Иванов предложил характеризовать сопротивляемость грунта величиной его модуля упругости.

Модуль упругости характеризует сопротивление уплотненного грунта (или другого материала) деформированию под действием нагрузок, в интервале обратимых деформаций.

Модуль упругости — значительно более стабильная характеристика деформационных свойств грунтов, чем, например, модуль деформации. Он в меньшей степени зависит от первоначального уплотнения грунта и практически мало меняется с изменением величины действующей нагрузки.

Модули упругости грунта земляного полотна на дороге определяют местным нагружением специального навесного пресса, смонтированного на автомобиле или прицепе. В лабораторных условиях это определение производят на рычажном прессе с использованием штампов различного диаметра, фиксируя упругие деформации при различных нагрузках.

Модуль упругости E_y определяют по специальной методике и вычисляют по формуле:

$$E_y = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\rho_n D (1 - \mu^2)}{l},$$

где $\pi/4$ — поправочный коэффициент при испытании жестким штампом; ρ_n — удельная нагрузка, под действием которой получена обратимая деформация, равная l ; D — диаметр штампа; μ — коэффициент Пуассона, который может быть принят для грунтов при отсутствии в них пластических смещений равным 0,35.

Значения модуля упругости применяют для характеристики механической прочности грунтов и других дорожно-строительных материалов и используют при расчете конструкций дорожных одежд и грунтов земляного полотна.

Например, E_y суглинистого грунта в зависимости от его влажности и плотности равен 20—40 МПа и более. После укрепления портландцементом в водонасыщенном состоянии тот же грунт имеет $E_y = 800—1000$ МПа и более.

Г л а в а XIII ПОЧВЫ И ПОЧВЕННЫЕ ЗОНЫ СССР

§ 1. Понятие о почвах и почвообразовательный процесс

В дорожном строительстве почва изучается и широко применяется как местный материал для сооружения земляного полотна и как основание для различных дорожных сооружений. Исходя из этого, ниже рассматриваются происхождение (генезис) почв, их формирование и изменения различных свойств, наиболее существенных для дорожно-строительных целей.

Почва является природным естественноисторическим телом и представляет собой весьма сложный комплекс минеральных и органических соединений. Эти разнородные группы веществ являются не случайной смесью, а закономерно связаны между собой. Как и всякое природное образование, почва находится в состоянии непрерывного изменения, постепенного развития (эволюция) и взаимодействия с окружающей ее природной обстановкой.

Качественное отличие почвы (ее плодородие) от материнской породы, из которой она образовалась, возникает в результате длительного и комплексного воздействия на нее биохимических процессов создания и разрушения органических веществ, протекающих на поверхности земли.

Одновременно с накоплением органических и минеральных питательных веществ строение и физические свойства почвы подвергаются изменениям, существенно влияющим и на ее строительные качества.

Всесторонне научно обоснованное изучение свойств поверхностных слоев горных пород, называемых почва ми, и установление законов их формирования и развития было начато в 80-х годах прошлого столетия В. В. Докучаевым. Он сформулировал идею о необходимости изучения всех природных явлений с точки зрения их происхождения (генезиса), взаимосвязи с окружающей природой и динамики развития.

Основными природными факторами почвообразования являются: 1) материнская горная порода, 2) климат, 3) рельеф, 4) живые организмы (растения и животные), 5) возраст территории. Важным фактором преобразования природных свойств почвы является также хозяйственная деятельность человека.

В случае использования почвы в инженерных целях, например при строительстве автомобильных дорог, деятельность человека особенно сильно изменяет свойства почвы, нарушая природные условия ее залегания. В отдельных случаях природные свойства почвы и особенно ее водно-тепловой режим и сложение подвергаются коренному изменению и улучшению с точки зрения использования ее в качестве материала для возведения сооружений или их оснований.

На развитие почвообразовательного процесса особенно большое влияние оказывает климат. Влияние его сказывается на характере и интенсивности процессов накопления и разрушения органического вещества. От климата зависят направленность этих процессов, степень насыщенности породы водой, преобладание тех или иных растительных сообществ. При этом, однако, следует иметь в виду, что климатические условия не являются постоянными. Распределение различных типов почв на территории СССР следует изучать с учетом климатических изменений, происходивших в том или ином районе страны.

Причинами многообразия почвообразовательного процесса служат также различия в составе и свойствах почвообразующих (материнских) пород и в рельефе местности. Влияние рельефа и почвообразующих пород проявляется в ускорении или, наоборот, замедлении почвообразовательного процесса, что характеризует относительный возраст почв.

В результате сложного взаимодействия факторов почвообразования формирование и свойства почвенного покрова подчиняются общему закону, выражающемуся в широтном зональном распределении почвенных типов на поверхности земного шара.

По мере увеличения высоты местности над уровнем моря закономерно изменяется количество тепла и влаги в атмосфере, что приводит к формированию вертикальных климатических зон. В соответствии с климатом происходит изменение и во всех природных явлениях, связанных с его действием. Поэтому и почвенный покров начинает образовываться по законам, соответствующим вертикальной зональности.

§ 2. Формирование генетических горизонтов почвы и внешние (морфологические) признаки почв

В результате длительного развития почвообразовательного процесса первоначальная материнская порода начинает дифференцироваться на слои, вызываемые генетическими горизонтами почвы. Эти горизонты отличаются не только внешними признаками, но и, что особенно важно в дорожно-строительном отношении, обладают весьма различными физико-механическими и коллоидно-химическими свойствами.

По степени выраженности и совокупности ряда свойств генетических горизонтов можно установить стадию почвообразователь-

ного процесса. В почвоведении толщу почвы обычно разделяют на три горизонта, обозначая их последовательно сверху вниз буквами *A*, *B* и *C*. В каждом из них можно выделить подгоризонты, обозначаемые теми же буквами, но с индексами, например подгоризонты A_0 , A_1 и A_2 или B_1 и B_2 и т. д.

Верхний горизонт почвы, в котором в основном происходит накопление и разрушение органического вещества, принято называть перегнойно-аккумулятивным и обозначать буквой *A* ($A_0 + A_1$). Благодаря наличию гумуса он обычно окрашен в более темный цвет, чем нижележащие. Легкорастворимые соли, например серноокислые и хлористые соли кальция и натрия, чаще всего вымываются из этого горизонта. Верхний слой — дерновый подгоризонт, содержащий растительные остатки малой степени разложения, обозначают A_0 .

Нижняя часть верхнего горизонта, обозначаемая A_2 , обычно содержит органические вещества и тонкодисперсные минеральные частицы в меньшем количестве и имеет более светлую окраску. Ее принято называть горизонтом вымывания (элювиальным).

Ниже залегает горизонт вымывания (иллювиальный), обозначаемый буквой *B* и напоминающий по окраске породу, из которой образовалась почва. В этот горизонт может поступать вода, проникающая из верхних слоев (горизонта *A*), и приносить с собой вымытые из них вещества; при этом часть принесенных веществ переходит в гель и оседает здесь. Некоторые из них образуют новые соединения. Горизонт *B* обычно более плотный и глинистый, чем горизонт *A*. Горизонт *B* постепенно переходит в мало затронутую процессом почвообразования материнскую породу, обозначаемую буквой *C*.

В условиях длительного избыточного увлажнения в нижних горизонтах почвы в результате деятельности анаэробных бактерий проявляются восстановительные процессы, вызывающие ее оглеение. Бактерии получают необходимый для жизнедеятельности кислород путем отщепления его от окислов железа, причем окисные формы железа переходят в закисные. Внешними признаками оглеения являются сизоватая, голубоватая или зеленоватая окраска грунта, плотное сложение и большая влажность. Горизонт почвы, в котором резко выражены эти процессы, называют глеевым и обозначают буквой *g*. По его наличию можно судить о близости горизонта грунтовых вод или верховодки.

При дорожном строительстве часто нарушается естественное сложение почвы (устройством насыпей, выемок, канав и т. д.) и смешивается материал отдельных горизонтов. Все это прерывает естественный почвообразовательный процесс, но не приводит, однако, к быстрой утрате основных коллоидно-химических, а отчасти и физических свойств, присущих данной почве.

Внешние (морфологические) признаки почв и грунтов, различаемые невооруженным глазом (цвет и др.), являются отражением

процесса их формирования и дополняют сведения об их физико-механических свойствах.

Изучая грунт в полевых условиях, можно по морфологическим признакам определить его происхождение и дать предварительную качественную оценку его строительных свойств. Наиболее важными внешними признаками почв и грунтов, доступными для изучения невооруженным глазом в полевых условиях, являются цвет, структура, сложение, новообразования и включения.

Цвет почв связан с химико-минеральным составом почв и зависит от их физического состояния. Цвет является существенным признаком для выделения почвенных горизонтов и подгоризонтов, а также отдельных слоев грунта. Окраска почв в природе может изменяться в очень широких пределах.

Черный цвет обычно указывает на большое содержание в почве органических веществ, гумуса (в черноземе) или торфа (торфяно-болотные почвы). При содержании гумуса в почве в количестве 5% и менее черная окраска переходит в темно-серую или серую; содержание гумуса 1% и менее обычно не оказывает заметного влияния на ее цвет.

Белесый цвет почвенных горизонтов, как правило, свидетельствует о процессах выщелачивания, вымывания (например, элювиальный подгоризонт A_2 в дерново-подзолистых почвах). Светлая окраска указывает на накопление тонкопесчаных и пылеватых частиц кремнезема, но она может быть обусловлена и наличием в грунтах мелких кристаллов кальцита или гипса.

Красноватая и красно-бурая окраска свидетельствует о присутствии в грунтах железистых соединений и минералов, что часто наблюдается, например, в горизонте вымывания (иллювиальном) подзолистых почв.

В природной обстановке почвы обычно окрашены в смешанные неяркие тона вследствие наличия в них ряда веществ и минералов с различной окраской. В зависимости от степени увлажнения цвет почвы может быть более или менее темным (при просыхании более светлым).

Структура почв. В естественных условиях залегания почвы не монолитны. При осмотре и особенно при разработке часто можно обнаружить, что они распадаются на различные по форме и величине отдельности, так называемые структурные агрегаты. Степень выраженности, прочность и форма этих агрегатов отражают процессы, протекающие в почве, и служат важным признаком, характеризующим ее коллоидно-химические и физико-механические свойства.

В почвоведении песчаные и сильно пылеватые почвы считают бесструктурными из-за того, что их отдельные частицы лишены связи друг с другом. Гумус с обменным кальцием придает большую устойчивость против размокания и механическую прочность структурным агрегатам, что наблюдается, например, в гумусовом горизонте целинных черноземов.

В зависимости от формы структурные агрегаты делят на три типа: 1) кубовидной структуры, в которой размеры граней примерно одинаковы по трем взаимно перпендикулярным осям; 2) призмovidной структуры, в которой грани развиты и вытянуты преимущественно по вертикальной оси; 3) плитовидной структуры, в которой грани развиты преимущественно по двум горизонтальным осям и имеют укороченный размер в вертикальном направлении. Указанные типы структурных агрегатов в зависимости от их размеров подразделяются на отдельные виды и подвиды (табл. 8).

Таблица 8

Классификация структурных агрегатов почв

Тип структуры	Виды структуры и их характеристика*	Размер структурных агрегатов, мм	Предел прочности при сжатии в сухом состоянии, МПа
Кубовидная	Глыбистая, грани у отдельных неровные, ребра неправильные	>50	<2,0
	Комковатая, отдельные в виде комков неправильной формы с неровной шероховатой поверхностью	50—10	>2,0
	Ореховатая, отдельные округлой или комковато-ребристой формы с гладкой поверхностью	20—5	>3,0
	Зернистая, отдельные округлые или комковатые, в виде зерна	5—1	>4,0
Призмovidная	Столбчатая, отдельные в виде столбов с округленными и ребристыми гранями	100—10**	>5,0
	Призматическая, отдельные с ровными, иногда глянцеватыми гранями и острыми ребрами	100—10**	>6,0
Плитовидная	Плитчатая, отдельные в виде плиток или пластинок	10—1***	<2,0
	Чешуйчатая, отдельные в виде изогнутых плиток и пластинок, уменьшающиеся по толщине к краям	5—1***	<2,0

* При подробном изучении почв указанные виды могут подразделяться на разновидности: например, крупноореховатая, средне- и мелкоореховатая и т. д.

** Даны вертикальные размеры отдельных.

*** Даны размеры по толщине отдельных.

Важной особенностью почв является их способность к формированию в определенных условиях, помимо макроструктурных, также и микроструктурных агрегатов различной прочности. Микро-

структурные агрегаты из-за малых размеров (менее 0,5 мм) определяют путем проведения микроагрегатного анализа. Например, черноземы с хорошо выраженной способностью распадаться на зернистые агрегаты характеризуются также наличием водопрочных микроагрегатов, что объясняется присутствием в них обменного кальция и его гуматов.

Солонцы, особенно содовые, несмотря на четко выраженные у них столбчатые или призматические агрегаты отличаются отсутствием водопрочных микроагрегатов. Это объясняется тем, что в солонцах имеется обменный натрий, пептизирующий (разъединяющий) микроагрегаты при увлажнении.

Наличие отчетливо выраженных зернистых и ореховатых структурных агрегатов при одновременном существовании в почве водопрочных микроагрегатов облегчает их разработку землеройными машинами, а также является положительным фактором при укреплении вяжущими материалами.

Сложение грунтов. В условиях естественного залегания грунты, в том числе и почвы, обычно представляют собой трехфазную систему, состоящую из твердых частиц или агрегатов грунта, воды, частично заполняющей поры, и воздуха, находящегося в порах грунта, свободных от воды.

Размеры и характер распределения пор в массе грунта и связанная с этим его уплотненность внешне выражают его сложение. Различают несколько видов сложения почв и грунтов.

Слитное, или связанное сложение, характеризующееся тем, что масса грунта уплотнена, обладает связностью и не содержит пор крупнее 0,25 мм в диаметре. Такое сложение свойственно некоторым глинам и суглинкам, например моренным отложениям.

Рыхлое сложение указывает на слабую связность частиц или структурных агрегатов между собой. Оно характерно для супесчаных грунтов, а также для верхних горизонтов черноземов, имеющих прочную мелкозернистую структуру. *Рассыпчатое* сложение характерно для сухих чистых песчаных грунтов, лишенных структуры.

Пористое сложение отличается тем, что масса грунта равномерно пронизана порами — отверстиями округлой формы и приблизительно одинакового диаметра. Примером могут служить типичные лёссы, обладающие макропорами размером 1—3 мм и даже более. Макропористое сложение обуславливает способность лёссов к просадке при замачивании водой.

Губчатое сложение характеризуется наличием в почве или грунте полостей размером 3—5 мм и более. Полости разъединены тонкими (до 1 мм) перегородками из массы грунта. Такое сложение напоминает губку. При губчатом сложении грунты дают большие осадки под нагрузкой и обладают малой связностью. Губчатое сложение имеют, например, туфы и другие породы.

Новообразования. Скопления и выделения различных веществ в порах грунтов, образовавшиеся в результате почвообразования, выветривания или других природных процессов и видимые нево-

оруженным глазом, принято называть новообразованиями. Наиболее широко распространены следующие виды новообразований (по химическому составу).

1. Скопления легкорастворимых солей — хлоридов и сульфатов натрия, кальция и магния (NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 , Na_2CO_3 , $\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$ и др.).

2. Выделения и отложения гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), имеющие белый цвет и встречающиеся в виде белых налетов, корочек, примазок и тонких прожилков. Они характерны для солонцов, солончаков и солончаковых почв.

3. Новообразования из углекислой извести (CaCO_3), имеющие белый и грязно-белый цвет и очень слабо растворимые в воде. Наличие этих новообразований наиболее характерно для лёссов и черноземов.

4. Соединения водной окиси железа ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) бурого, ржавого и красного цвета, практически не растворимые в воде. Такие новообразования имеют вид налетов, пленок, примазок или стяжений в виде рудяковых ортшейновых зерен, бобовин, ортзандовых прослоек и т. п. В отдельных местах рудяковые зерна, бобовины и другие конкреции накапливаются в таком количестве, что образуют прослойки так называемой болотной руды, которая может использоваться как прочная (гранулометрическая) добавка к глинистому грунту для улучшения условий проезда по грунтовым дорогам.

5. Соединения закиси железа (FeO) наблюдаются в виде сизых пленок, зеленовато-серых или синевато-серых пятен и разводов, буреющих на воздухе. Иногда закисное железо накапливается в виде минерала вивианита, имеющего голубую окраску. Соединения закиси железа характерны для болотных и полуболотных почв и указывают на оглеение.

6. Выделения кремнезема (SiO_2) белесого или светло-серого цвета. В виде кремнеземистой присыпки, карманов и гнезд они наиболее характерны для подгоризонта A_2 подзолистых и серых лесных почв.

Перечисленные новообразования наиболее широко распространены в природе; другие соединения встречаются реже.

Наличие в грунте тех или иных новообразований, их количество, качественный состав и форма — все это позволяет распознавать в полевой обстановке генезис грунта и протекающие в нем процессы, а также получать ориентировочное представление о его химическом составе, физических и механических особенностях.

§ 3. Генетическая классификация почв и их зональность в природе

Каждый генетический тип почв характеризуется присущими ему физическими и химическими свойствами, а также определенными условиями водного и воздушного режима, т. е. определенным распределением влажности по глубине почвенного разреза.

Отдельные крупные фазы в развитии почвенного типа позволяют выделять характерные подтипы почв, а при необходимости по ряду количественных признаков также проводить более дробное их подразделение на виды и разновидности.

Основы классификации почв были созданы Н. М. Сибирцевым. Он разработал теорию, согласно которой основные типы почв обнаруживаются зональной, т. е. поясной (широтный), характер распределения их на земном шаре.

Зональные почвы занимают обширные пространства. Их происхождение и свойства зависят от общих физико-географических и особенно биологических факторов, свойственных данной зоне. К зональным почвам относятся тундровые, подзолистые, серые лесные, черноземы, буроземы и др.

Наряду с зональными почвами Н. М. Сибирцев выделил классы интразональных почв, распределение которых по поверхности земного шара не подчиняется закону широтной зональности.

Интразональные почвы залегают небольшими площадями среди зональных. Они формируются там, где отдельные факторы почвообразования преобладают над общими зональными факторами. К интразональным почвам относятся солонцы, солончаки, перегнойно-карбонатные почвы и др.

Таким образом, одним из основных положений почвоведения является географичность почвенных образований. Почвенный покров любого участка земной поверхности закономерно обусловлен местом залегания, характером строения и составом. Однако полнота и строгая географическая последовательность почвенных типов часто нарушаются влиянием различных местных геоморфологических, геологических и других особенностей, препятствующих развитию почв.

Наряду с широтным зональным распределением почв отмечается и их вертикальная зональность. Наличие и распространение вертикальной зональности почв в горных условиях впервые установил В. В. Докучаев. Согласно его учению, по мере поднятия от подножия к вершине высоких гор наблюдается ряд вертикальных почвенных зон, последовательно сменяющих одна другую, как и при широтном движении от экватора к полюсу.

В дальнейшем была установлена зависимость развития почвенного покрова от экспозиции горных склонов по отношению к сторонам света, а также наличия почвенной микрозональности, указывающей на существование в равнинной местности миниатюрных вертикальных полос или зон, закономерно связанных с микрорельефом местности.

В настоящее время для характеристики и составления почвенных карт на территории Советского Союза пользуются подробной классификацией почв. Главными и наиболее распространенными генетическими зональными типами почв, залегающими в широтном направлении с севера на юг и характеризующими климатические зоны, являются следующие почвы: 1) тундровые — тундрово-глеевые, тундровые полуболотные и болотные; 2) таеж-

но-лесные — подзолистые, дерново-подзолистые, болотно-подзолистые, серые лесные глеевые и др.; 3) лесостепные и степные — лесостепные, черноземы различных видов, лугово-черноземные, каштановые и лугово-каштановые, солонцы степные и лугово-степные и др.; 4) полупустынные и пустынные — бурые полупустынные, сероземные, солонцы и солончаки полупустынные и пустынные.

§ 4. Почвенные зоны СССР, их распространение и характеристика

Тундровая зона. Возраст почв этой зоны наиболее молодой вследствие относительно позднего освобождения ее поверхности от материкового льда. Из-за особенностей климата рельеф тундры мало расчленен и в значительной степени сохранил так называемый моренный ландшафт. Преобладающими элементами рельефа тундры являются обширные слегка волнистые водораздельные плато, на которых местами возвышаются невысокие извилистые гряды.

Моренные отложения тундры представлены валунными неотсортированными глинами, суглинками и песками. Содержание валунов в них может колебаться в очень широких пределах.

Количество атмосферных осадков здесь не превышает 300 мм в год, и они выпадают преимущественно летом. В связи с длительной зимой, отличающейся весьма низкими температурами и малым снежным покровом, на значительной части территории тундры под небольшим слоем оттаивающей летом почвы залегает мощный (порой до 200 м) слой многолетнемерзлых грунтов. Короткое лето, суровая зима и наличие мерзлоты препятствуют распространению лесов в тундре.

Наличие мерзлоты определяет избыточное увлажнение поверхностных горизонтов почвы и застой воды в них. Просачивание воды вниз невозможно из-за водонепроницаемости подстилающих многолетнемерзлых пород. Поверхностный сток воды крайне затруднен ввиду малой расчлененности рельефа. Испарение воды с поверхности почвы в связи с низкой температурой очень незначительно. Эти особенности климата и геологического строения тундры приводят к заболачиванию почвы.

Тундровые почвы в вертикальном разрезе характеризуются малой мощностью. Их верхний горизонт торфянистый с признаками сильного оглеения. На глубине 10—45 см почва резко переходит в материнскую породу, мало затронутую почвообразовательным процессом. На повышенных элементах тундры и при щебенистых грунтах торфянистый горизонт почти полностью отсутствует. В этой зоне встречаются грубые каменные, галечниковые, древесные и песчаные грунты, не затронутые или мало затронутые процессами почвообразования.

Следует указать, что избыточное поверхностное увлажнение и наличие многолетней мерзлоты создают крайне неблагоприятные условия проведения дорожно-строительных работ в тундровой зоне.

Таежно-лесная зона. Она широко распространена и занимает более половины площади европейской части СССР и свыше $\frac{3}{5}$ территории Сибири. Основными зональными типами почвообразования являются подзолистый и дерново-подзолистый с преобладанием последнего. В этой зоне в Якутской АССР по рекам Лене, Вилюю, Ангаре и Алдану большие площади занимают солонцы и солоды. На севере указанная зона граничит с тундрой. Южная граница таежно-лесной зоны проходит примерно в направлении Чернигов — Орел — Тула — Казань — Свердловск — Тюмень — Томск — Верхне-Удинск — по р. Амуру на Хабаровск и Владивосток. Климат зоны умеренно холодный и влажный.

Подзолообразовательный процесс протекает в условиях избытка влаги и в чистом виде является результатом совокупного воздействия на материнскую породу древесной растительности и аэробной грибной микрофлоры в верхних горизонтах почвы. В результате этих воздействий состав материнских пород претерпевает резкое изменение. При этом происходит перераспределение отдельных веществ по вертикальному профилю.

Так, например, в горизонте *A* происходят процессы выщелачивания, а горизонт *B*, наоборот, обогащается гидратами окиси железа и в меньшей мере гидратами окиси алюминия. Под действием креновой кислоты в верхней части почвенного разреза, в горизонте *A*, обособляется подзолистый подгоризонт A_2 , из которого происходит сильное выщелачивание всех соединений, кроме кварца и аморфной кремневой кислоты. Он рыхлый, белесого цвета и мучнистый на ощупь.

Преобладание процессов выщелачивания обуславливает кислую реакцию подзолистых почв и приводит в распыленное (пептизированное) состояние ее тонкодисперсную часть. Вертикальный профиль подзолистых почв хорошо дифференцирован на горизонты и подгоризонты, легко распознаваемые по окраске, структуре и другим признакам, каждый из которых характеризуется своими физико-механическими свойствами и отношением к вяжущим веществам.

Горизонт *B* — горизонт вымывания (иллювиальный) — обогащен полуторными окислами железа, придающими ему бурую ржавую окраску. Он более плотный и более глинистый по составу. При суглинистом и глинистом гранулометрическом составе обладает хорошо выраженной ореховатой, а внизу — призматической структурой. В зависимости от выраженности подзолообразовательного процесса мощность горизонтов и подгоризонтов различна.

При укреплении грунтов вяжущими материалами дерновый и гумусовый горизонты подлежат удалению. Подгоризонт A_2 и горизонт *B* при сильной выраженности подзолообразовательного процесса пригодны к укреплению цементом или битумом только после внесения добавок извести или других электролитов.

Если есть возможность выбора, то при укреплении цементом или битумом предпочтение отдается почвам легкого гранулометрического состава — песчаным, супесчаным.

В условиях равнинного рельефа при затрудненном стоке воды или близком залегании уровня грунтовых вод в результате длительного существования луговой травянистой растительности подзолистые почвы заболачиваются. Постепенно с поверхности образуется полуторфянистый, а затем и торфянистый горизонты различной мощности. В горизонте *B* и в подстилающей материнской породе под влиянием избыточного увлажнения и недостатка воздуха создаются анаэробные условия, приводящие к раскислению алюмосиликатных и других соединений и образованию так называемого глеевого горизонта *g* плотного, вязкого, бесструктурного и обычно сильно увлажненного, имеющего окраску от сизой до светлой зеленоватой.

В природе наблюдается целый ряд почвенных разностей переходного типа между дерново-подзолистыми и болотными, с различной степенью заболачивания. Такие почвы относятся к полуболотным.

Болотные почвы являются крайним выражением процессов заболачивания, где полностью господствуют анаэробные условия и преобладают процессы накопления полуразложившегося органического вещества.

Болотные и полуболотные почвы занимают обширные площади в дерново-подзолистой зоне и зоне серых лесных почв. Однако они могут встречаться и в более южных зонах. Поэтому их относят к классу интразональных почв. В дорожно-строительном отношении территории, занятые полуболотными и болотными почвами, весьма неблагоприятны.

Лесостепная зона. Эта зона характеризуется распространением серых и темно-серых почв. Расположена она к югу от подзолистой и является переходной к степной черноземной зоне. Почвенный покров зоны очень пестрый. В северной части преобладают почвы подзолистого типа в сочетании с серыми лесными почвами и с небольшими площадями выщелоченного чернозема. В южной части зоны, наоборот, преобладают выщелоченные, а также типичные мощные черноземы. Серые и темно-серые лесные почвы, особенно дерново-подзолистые, встречаются на небольших площадях.

В пониженных элементах рельефа часто встречаются различные интразональные почвы: лугово-черноземные, лугово-болотные, солонцы и солоды.

Наиболее типичные для этой зоны серые лесные почвы формируются на покровных и лёссовидных суглинках и имеют следующие хорошо выраженные морфологические признаки. Гумусовый горизонт *A* с рыхлым сложением и часто пластинчато-листоватой структурой окрашен в темно-серый или серый цвет. Подгоризонт *A*₂ заметно осветлен и содержит много белесой кремнеземистой присыпки на поверхности структурных отдельностей. Горизонт *B* обычно уплотнен, характеризуется отчетливо выраженной ореховатой структурой и темно-бурой окраской.

В нижней части горизонта структура укрупняется и переходит в призматическую. Преобладающими материнскими породами в

лесостепной зоне являются структурные покровные глины и суглинки, лёссовидные суглинки, а в южной части зоны — лёссы.

Южной границей лесостепи является линия, примерно проходящая через Кишинев — Кременчуг — Полтаву — Харьков — Борисоглебск — Вольск — Куйбышев — Стерлитамак.

В азиатской части СССР южная граница лесостепи идет по линии, расположенной к юго-востоку от г. Троицка, между Петропавловском и Кокчетавом, далее немного южнее оз. Чаны, затем на юго-восток к Барнаулу и предгорьям Алтая. Западносибирская лесостепь является березовой и в ней широко развиты солонцы, солоды и солончаки.

В дорожно-строительном отношении лесостепная зона неоднородна. Наряду с участками, благоприятными в отношении водного режима, большие площади заняты пылевато-суглинистыми грунтами с плохим водоотводом. Процессы накопления влаги в осенне-зимний период приводят к резкому снижению несущей способности таких грунтов.

В отношении применения различных методов укрепления эта зона более благоприятна, чем подзолистая лесная. Каменными материалами на большей части территории эта зона не обеспечена.

Черноземная, или степная зона. В Советском Союзе черноземы покрывают огромное пространство, составляющее 8,6% всей его территории. В нашей стране находится около половины площади мирового распространения этих богатейших по плодородию почв.

Впервые научное представление о черноземе как о генетическом почвенном типе было дано В. В. Докучаевым, который в работе «Русский чернозем» (1883 г.) дал всестороннее описание и характеристику черноземных степей. В. В. Докучаев создал научно обоснованную теорию о происхождении (генезисе) чернозема, в которой указал на его растительно-наземное происхождение, на зависимость от климатических условий и связь со степной растительностью.

В зависимости от фазы развития черноземных почв, связанной со свойствами материнских пород, рельефом и геологическим строением местности, черноземы делят на ряд подтипов, главными среди которых являются: 1) деградированный (северный); 2) выщелоченный; 3) мощный; 4) обыкновенный и 5) южный.

Вертикальный профиль обыкновенного суглинистого чернозема следующий. Мощный перегнойный (гумусовый) горизонт *A* глубиной 40—60 см, а иногда и более, имеет темную окраску. Во влажном состоянии окраска становится черной с жирным отливом. Зернистая структура чернозема особенно хорошо выражена в подгоризонте *A*₁; в подгоризонте *A*₂ она укрупняется.

В нижней части горизонта *B* (подгоризонты *B*₂ и *B*₃) часто содержатся выделения углекислой извести в разной форме (выцветы, лжегрибница, в южных черноземах — белоглазка). Эти подгоризонты по окраске и свойствам постепенно переходят в почвообразующую породу.

Строение чернозема изменяется в довольно широких пределах в зависимости от того, к какому подтипу он относится. Мощность гумусового горизонта колеблется от 25 до 150 см, а иногда достигает 200 см. Содержание гумуса может колебаться от 3 (супесчаные черноземы) до 20% (черноземы на глинах), но в среднем гумус содержится в пределах 7—10%. Степень выраженности структуры бывает различной.

В черноземной зоне довольно большая территория занята лугово-черноземными, солонцеватыми почвами, реже — солонцами, солончаками и солодами. Преобладающими почвообразующими породами в этой зоне являются типичные лёссы, лёссовидные суглинки, покровные глины и суглинки различного происхождения.

Черноземная зона расположена к югу от лесостепи. Южная граница проходит по линии Одесса — Мелитополь — Ростов-на-Дону — Камыший — Саратов — Оренбург. К югу от зоны сплошного распространения черноземы покрывают обширное пространство Западного Предкавказья: от Ростова-на-Дону до Новороссийска на западе и от Сальска до Грозного на востоке.

В азиатской части СССР черноземы занимают более узкую полосу, южная граница которой проходит через Темир, Тургай и далее несколько южнее Целинограда и Семипалатинска.

В дорожном отношении черноземные почвы часто недостаточно благоприятны, особенно в северной части зоны из-за большой влагоемкости, пористости и значительного содержания пылеватых частиц. Применение методов укрепления в черноземной зоне требует всестороннего учета особенностей этих почв и введения различных добавок поверхностно-активных и других веществ, повышающих эффективность вводимых в грунт вяжущих материалов. Черноземы (гумусовые их горизонты) не рекомендуется укреплять вяжущими материалами при содержании гумусовых веществ более 4%.

Зона сухих степей расположена к югу и юго-востоку от степной (черноземной) зоны. Почвенный покров ее чрезвычайно пестрый с ясно выраженной солонцеватостью. Преобладают каштановые почвы в комплексе с бурыми полупустынными почвами и различного вида солонцами. В бессточных низинах часто встречаются солончаки.

Типичные каштановые почвы характеризуются меньшим содержанием гумуса, чем у черноземов, имеют более светлую (каштановую) окраску. Гумусовый горизонт обычно небольшой мощности (20—30 см), имеет комковатую структуру. Ниже залегает уплотненный горизонт В (мощностью 25—35 см) с комковато-призматической структурой, в который языками вклиниваются гумусовые подтеки. Карбонаты кальция обнаруживаются на глубине 30—40 см, а иногда и с поверхности. Ниже подгоризонта В₁ залегает иллювиальный подгоризонт В₂ с большим скоплением белоглазки. На глубине около 2 м обычно обнаруживаются скопления гипса.

Сухие климатические условия, глубокое залегание грунтовых вод обеспечивают большую устойчивость земляного полотна, особенно если оно уплотнено до максимальной плотности при оптимальной влажности. Большинство применяемых методов укрепления грунтов дает хорошие результаты.

В этой зоне, часто, но небольшими площадями вкраплены типичные интразональные почвы: солонцы и реже солончаки.

Солонцы, весьма распространенные в этой зоне, имеют резко выраженный вертикальный профиль, характеризующийся следующими морфологическими признаками: 1) подгоризонт A_1 — темно-каштановой окраски, тонкослойный, пылеватый, с тонкопористым сложением; 2) подгоризонт A_2 — более светлый, отличается резко выраженной горизонтальной слоистостью; общая мощность горизонта A ($A_1 + A_2$) в среднем 10—15 см; 3) подгоризонт B_1 — темно-бурый, обычно столбчатой структуры; столбики имеют округленную головку и блестящие боковые грани; сложение плотное; мощность подгоризонта 12—15 см; 4) подгоризонт B_2 — буровато-каштановой окраски, но светлее, чем B_1 ; структура острогранно-комковатая; мощность 15—16 см; 5) материнская порода C — более светлой окраски с выцветами солей, известковыми конкрециями и включениями гипса.

Характерным признаком солонцов является их сильная гидрофильность, т. е. способность к быстрому размоканию, сильному набуханию и проявлению большой липкости и пластичности. Наличие поглощенного натрия в солонцах вызывает их пептизацию при увлажнении. Благодаря этой коллоидно-химической особенности солонцы с большим эффектом можно использовать для создания земляного полотна при тщательном их уплотнении и быстром устройстве водонепроницаемого покрытия или основания.

Солонцы непригодны для укрепления битумом и трудно поддаются укреплению цементом из-за специфических особенностей их структуры, весьма прочной в сухом состоянии.

Полупустынная и пустынная зоны имеют резко выраженный жаркий и засушливый континентальный климат. Количество осадков здесь весьма незначительно и колеблется в пределах 80—200 мм в год. На юге область представляет собой пустыню, а на севере полупустыню. По этой причине почвообразовательный процесс развит крайне слабо и изменяет материнскую породу на небольшую глубину. Большие площади в пустынях и полупустынях заняты сероземами и серо-бурыми пустынными почвами, формирующимися на лёссовых отложениях.

В южных районах, на территории Туркмении, Узбекистана и Казахстана, расположены пустыни с подвижными развеваемыми барханными песками (Каракумы, Кызылкумы и др.).

Пониженные равнины на участках с близким залеганием уровня грунтовых вод, содержащих большое количество водорастворимых солей, часто заняты различными солончаками и такырами. Такыры представляют собой своеобразные глинистые делювиальные отложения, содержащие гипс, карбонаты и в небольшом

количестве легкорастворимые соли (рис. 35). Характерным признаком такыров является их исключительно гладкая поверхность, разбитая неглубокими трещинами на ряд многоугольников, напоминающих паркет. Поверхность такыра в сухое время года очень ровная и твердая и автомобили могут свободно проезжать по таким участкам со скоростью 70—80 км/ч. Однако в периоды дождей такыры превращаются в мелкие быстро высыхающие озера со слоем липкой грязи, и проезд по ним становится невозможным.

Проезд на автомобиле по солончакам даже в сухое время года затруднителен. В зависимости от качественного состава и количественного содержания легкорастворимых солей солончаки могут быть хлоридными (преобладает NaCl), сульфатными (преобладает Na_2SO_4), содовыми (преобладает Na_2CO_3) или смешанными.

Солончаки не имеют морфологически выраженных генетических горизонтов. Часто на их поверхности наблюдается скопление различных солей в виде корочек, налетов или сплошного слоя кристаллов. Преобладание в засоленном грунте хлористого кальция, отличающегося большой гигроскопичностью, приводит к образованию так называемых мокрых солончаков.

В случае преобладания в грунте сернокислого натрия (глауберовой соли), при высыхании кристаллизующегося с 10 молекулами воды и поэтому сильно увеличивающегося в объеме, образуются пухлые солончаки, непроезжие в сухую погоду из-за отсутствия связности.

В табл. 9 приводится составленная нами классификация засоленных грунтов, степень их пригодности для возведения земляного полотна и возможности укрепления этих грунтов с учетом качественного состава и количественного содержания легкорастворимых солей.

§ 5. Краткая характеристика дорожно-климатических зон

По почвенному покрову можно судить о климате в прошлом и настоящем. Он указывает на характер увлажнения местности и ее водно-тепловой режим, а следовательно, дает представление о поведении и устойчивости грунта в земляном полотне (его прочности, степени увлажнения и др.).

Опираясь на установленную многолетними наблюдениями зависимость водно-теплого режима грунтов от типа почвообразо-



Рис. 35. Поверхность глинистого такыра

Классификация засоленных грунтов и степень их пригодности в дорожном строительстве

Грунты	Среднее суммарное содержание легко-растворимых солей в метровом слое грунта (% по массе) при засолении		Пригодность для устройства			
	хлорид-ном и сульфатно-хлорид-ном	сульфат-ном и хлорид-но-сульфатном	земляного полотна	дорожных оснований и покрытий из грунтов, укрепленных		
				цементом, известью	битумом, дегтем	карбамидными или фуруроляни-линовыми смолами
Слабо засоленные	0,3—1	0,3—0,5	Пригодны	Пригодны	Пригодны с дополни-тельными меро-приятными	Не-пригодны
Средне засоленные	1—5	0,5—2,0	То же	То же	То же	То же
Сильно засоленные	5—8	2—5	Пригодны с дополни-тельными меро-приятными	Пригодны с дополни-тельными меро-приятными	Непригодны	»
Избыточно засоленные	>8	>5	Непригодны	Непригодны	»	»

Примечания. 1. Грунты, содержащие легкорастворимые соли Na_2CO_3 и NaHCO_3 (менее 0,3%) и поглощенные катионы натрия (более 20% от емкости поглощения), относятся к засоленным солонцеватым грунтам.

2. При укреплении битумными материалами или синтетическими полимерными соединениями содержание соды более 0,1% не допускается.

3. Засоленные грунты, содержащие более 5% гипса, нельзя укреплять битумными материалами и синтетическими полимерами, а при содержании более 10% — цементом или известью.

вательного процесса и стадии его развития, а также с целью учета климатических факторов при проектировании автомобильных дорог территорию СССР делят на дорожно-климатические зоны; их границы примерно совпадают с границами почвенных зон, фиксирующих распространение почв, относимых к классу зональных.

Первая (I) зона — зона многолетнемерзлых грунтов и тундровых почв. Вторая (II) зона — таежно-лесная зона избыточного увлажнения, способствующего формированию подзолистых, дерново-подзолистых, полуболотных и болотных почв. Третья (III) зона включает лесостепную зону, представляющую собой переходную к степной зоне; характеризуется переменным увлажнением и чрезвычайно пестрым почвенным покровом. Подзолистые и серые лесные почвы чередуются с выщелоченными черноземами, полуболотными и лугово-черноземными почвами. Четвертая (IV) зона — с недостаточным увлажнением и преобладанием черноземов и каштановых почв различных видов.

Пятая (V) зона заслушивая, полупустынная и пустынная, с характерным почвенным покровом: сероземами, бурыми пустынными почвами, солончами и такырами.

В основе выделения перечисленных дорожно-климатических зон лежит учет широтной зональности почв. На горные районы, где наблюдается вертикальная зональность почв, эта классификация не распространяется.

В целях изучения и более дифференцированного учета влияния рельефа, микроклимата и гидрогеологических условий на водно-тепловой режим земляного полотна, а следовательно, и на его прочность на более ограниченных по протяженности участках внутри каждой из перечисленных макрзон принято выделять три типа местности по характеру и степени увлажнения и геоморфологическим признакам — микрзоны.

К первому типу местности относятся сухие участки, без избыточного увлажнения, с обеспеченным поверхностным стоком воды; почвы здесь не имеют признаков заболачивания. Ко второму типу можно отнести сырые участки с избыточным увлажнением в отдельные периоды, не обеспеченным поверхностным стоком, с периодическим застоем воды в весенний или осенний периоды. Третий тип — сырые участки, с постоянным избыточным увлажнением и близким залеганием грунтовых вод, или верховодки.

В четвертой и пятой зонах, где испарение преобладает над влагонакоплением, равнинные водораздельные участки, не имеющие стока, но с глубоким залеганием грунтовых вод, надо отнести к первому типу местности.

Приведенное разделение местности по степени увлажнения в известной степени условно и относительно, но в общем виде оно объективно отражает сочетание и влияние ряда природных факторов на устойчивость земляного полотна и дорожных одежд.

По существу в каждой из пяти дорожно-климатических зон первый тип местности характеризует собой распространение класса зональных почв, отвечающих условиям данной природной зоны (табл. 10). Второй и третий типы местности в большинстве случаев характеризуют участки территории, занятые типами почв, относящихся к классу интразональных.

Следует также отметить, что деление на три типа местности закономерно внутри каждой зоны. Из этого, конечно, не следует, что участки территории II зоны, отнесенные к первому типу местности, равноценны по комплексу факторов и степени увлажнения, например, участкам в IV и V зонах при том же типе местности.

К этому необходимо добавить, что перечисленные закономерности увлажнения местности рассматриваются применительно к участкам территории с преобладанием суглинистых грунтов. При песчаных грунтах большой мощности эти закономерности будут другими и, безусловно, более благоприятными в дорожно-строительном отношении.

Распределение преобладающих типов почв по дорожно-климатическим зонам в зависимости от типа местности

Дорожно-климатические зоны	Почвы, соответствующие типу местности			Тип местности, преобладающий в данной зоне
	первому	второму	третьему	
I — многолетнемерзлых Грунтов	Практически отсутствует	Тундровые	Болотные	Второй и третий
II — лесная, с избыточным увлажнением	Слабо- и средне-подзолистые	Сильноподзолистые с признаками оглеения; полуболотные	Полуболотные и болотные	В северной части зоны второй и третий типы в сумме преобладают над первым; в южной части может превалировать первый тип
III — лесостепная, с переменным увлажнением	Серые лесные, реже слабоподзолистые	В северной части зоны дерново-подзолистые; в южной части — черноземы выщелоченные, лугово-черноземные, солонцы и солоды	То же	В северной части зоны первый тип местности преобладает, но не всегда; в южной части обычно преобладает первый тип местности
IV — степная, с недостаточным увлажнением	Черноземы типичные (обыкновенные); южные черноземы; каштановые	Солонцеватые черноземы и каштановые; солонцы и солоды	Солончаки и солонцы; полуболотные и болотные	Преобладает первый тип местности; второй и особенно третий типы занимают небольшие территории
V — засушливая полупустынная или пустынная	Сероземы; светло-бурые	Солонцы; солончаки; такыры	Солончаки; полуболотные	Преобладает первый тип местности в значительно большей степени, чем в IV зоне; второй и третий типы занимают небольшие территории

Примечание. Испарение и накопление влаги относятся к верхней 1—1,5-метровой толще грунта.

Рассмотренные закономерности в распределении почв по зонам и типам местности с успехом используются при проектировании автомобильных дорог с целью правильного выбора элементов земляного полотна и толщины конструктивных слоев дорожных одежд. Эти закономерности в изменении почвенного покрова учитываются также при выборе методов укрепления грунтов и назначении конструктивных слоев из укрепленных грунтов, а также устройства лесозащитных полос вдоль автомобильных дорог в целях защиты их от снежных заносов.

Г л а в а XIV

ВЕЧНОМЕРЗЛЫЕ ГРУНТЫ

§ 1. Общие сведения о вечномерзлых грунтах и их распространение в СССР

От Белого моря на западе до Охотского и Берингова морей на востоке к северу от II дорожно-климатической зоны простирается зона вечномерзлых грунтов (I дорожно-климатическая зона). Названа она так потому, что в этой зоне на некоторой глубине от земной поверхности находится толща горных пород с отрицательной температурой, которая сохраняется непрерывно в течение длительного времени (от двух лет до нескольких тысячелетий). Зона многолетнемерзлых грунтов занимает около 45% всей территории СССР. Кроме СССР мерзлота распространена на Аляске, в Гренландии, в северных частях Монголии и Китая и в других местах.

О существовании мерзлых грунтов на севере Сибири стало известно более 300 лет назад. Научное изучение вечномерзлых грунтов впервые началось в России. Особенно широко развернулись исследования вечномерзлых грунтов после Октябрьской революции.

Благодаря деятельности советских ученых-мерзлотоведов М. И. Сумгина, Н. А. Цытовича, Н. И. Толстихина, А. В. Львова и других учение о вечномерзлых грунтах стало новой ветвью геологической науки — мерзлотоведением (геокриологией).

На основе обобщения многолетних исследований, а также в соответствии с действующей классификацией грунтов (ГОСТ 25100—82) вечномерзлыми называют грунты, которые в условиях природного залегания находятся в мерзлом состоянии непрерывно (без оттаивания) в течение многих лет. Вечномерзлые грунты с учетом их отрицательной температуры и льдистости могут быть мерзлыми льдистыми и мерзлыми сильно льдистыми.

В различных районах зоны вечной мерзлоты залегают грунты разного состава, которые относятся к классам грунтов с жесткими (кристаллизационными) структурными связями и без жестких структурных связей (осадочных нецементированных). Разнообразные по составу и свойствам грунты, относящиеся к классу без жестких структурных связей, в зависимости от степени цементации

их льдом могут быть твердомерзлыми, пластичномерзлыми и сыпучемерзлыми.

Твердомерзлый грунт сцементирован льдом и характеризуется относительно хрупким разрушением. Он практически несжимаем под действием нагрузок, создаваемых зданиями и инженерными сооружениями. Пластичномерзлый грунт сцементирован льдом, но обладает вязкими свойствами и характеризуется сжимаемостью под действием нагрузок от зданий и сооружений. Сыпучемерзлый грунт имеет отрицательную температуру, но он не сцементирован льдом вследствие малой влажности. В сыпучемерзлом состоянии обычно находятся крупнообломочные и песчаные грунты.

В зависимости от степени цементации льдом устойчивость и сопротивляемость нагрузкам вечномерзлых грунтов бывает весьма различной, что обязательно надо учитывать при строительстве и эксплуатации сооружений.

В связи с быстрым увеличением объемов добычи нефти и газа в северных районах Западной Сибири, т. е. в зоне вечной мерзлоты, все возрастающими темпами ведется строительство автомобильных дорог и аэродромов в этом регионе. Поэтому правильный учет сложных условий строительства этих сооружений в зоне вечной мерзлоты является весьма важной и неотложной задачей.

§ 2. Температурный режим вечномерзлых грунтов

По температурному режиму грунтов в зоне мерзлоты выделяют: 1) деятельный слой, 2) многолетне- или вечномерзлую толщу, 3) подмерзлотную толщу (талые грунты).

Деятельный слой. Деятельным называют верхний слой грунтов, лежащий над мерзлотой. Он характеризуется тем, что зимой замерзает, а летом оттаивает. Здесь сосредоточивается жизнедеятельность растительных и животных организмов и протекают различные процессы.

В зависимости от географического положения местности, характера почв и горных пород, мощности снегового покрова, растительности и т. п. мощность деятельного слоя колеблется в широких пределах. Наименьшая (0,2—1 м) его толщина наблюдается на болотистых местах вследствие плохой теплопроводности торфа, а наибольшая (2—4 м) — в песчаных, гравелистых и щебенистых грунтах, особенно если они расположены на склонах, обращенных к югу.

На большей части зоны вечной мерзлоты деятельный слой в зимний период сливается с мерзлотной толщей, образуя так называемую сливающуюся мерзлоту. Там где вечномерзлые грунты залегают глубоко, а также в теплую зиму такого слияния не происходит, между деятельным слоем и мерзлотой остается талый слой различной мощности. Этот вид мерзлоты получил название *неливающейся*.

Вечномерзлая толща. Ее мощность колеблется в широких пределах. На южной окраине области распространения мерзлоты она минимальна (10—30 м), к северо-востоку закономерно увеличивается, достигая в отдельных местах несколько сотен метров.

Температура вечномерзлых грунтов изменяется от 0 до -8°C . Температурный режим деятельного слоя и мерзлой толщи зависит от климата, растительности, рельефа местности, гидрогеологических условий, мощности снегового покрова и хозяйственной деятельности человека. Изменения этих факторов обычно приводят к изменениям температурного режима толщи горных пород и мощности деятельного слоя и мерзлой толщи.

Иногда толща вечномерзлых грунтов может переслаиваться тальми горными породами с положительной температурой. Этот вид мерзлоты получил название слоистой. Наличие ее чаще всего объясняется циркуляцией подземных вод с положительной температурой и различными теплофизическими свойствами пород.

Следует также указать на наличие в зоне вечной мерзлоты так называемых таликов, т. е. толщ грунтов с положительной температурой. Таликами чаще всего являются участки под дном рек и озер. Однако в южной части зоны мерзлоты талики встречаются и вне площади, занятой водоемами.

Вдоль южной границы зоны вечной мерзлоты иногда наблюдается ее деградация — частичная или полная (исчезновение). Это выражается в увеличении деятельного слоя и слоя положительных температур в неславящейся мерзлоте, уменьшении мощности мерзлой толщи и отступании многолетней мерзлоты к северу.

Причинами такой местной деградации мерзлоты являются, с одной стороны, климатические изменения, а с другой, — влияние человеческой деятельности: вырубка леса, очистка территории от кустарникового и мохового покрова, распашка почв, разведение скота, строительство различных сооружений. Все это изменяет температурный режим мерзлых грунтов.

§ 3. Особенности свойств грунтов при замерзании

С понижением температуры содержащаяся в грунтах вода полностью или частично замерзает. В грунтах образуются кристаллы льда, которые придают им новые свойства, отличающиеся от свойств талых грунтов: 1) увеличивается сцепление (связность) между частицами и агрегатами грунта вследствие их цементации льдом; 2) при замерзании влажные грунты увеличиваются в объеме; 3) грунты приобретают так называемую м о р о з н у ю с т р у к т у р у, характеризующуюся наличием отдельных кристаллов и скоплений льда в виде прослоек и линз; 4) грунты становятся водонепроницаемыми.

Сцепление (связность) мерзлых грунтов зависит от количества образующихся при понижении температуры кристаллов льда, т. е. от льдистости грунта. Льдистостью принято называть содер-

жание льда в мерзлом грунте, определяемое отношением объема включений льда к общему объему грунта (с учетом включений льда). В замерзшем грунте влага может одновременно находиться в виде льда, жидком и парообразном состоянии.

Известно, что наибольшее количество влаги может содержаться в глинах и суглинках. При замерзании водонасыщенных глинистых грунтов часть содержащейся в них влаги переходит в лед с образованием связанного монолита, отличающегося большой прочностью (предел прочности при сжатии 6 МПа и более) и трудностью разработки. Однако при небольшой отрицательной температуре (до -4°C) слабо связанная вода может не замерзнуть, вследствие чего грунт будет находиться в пластичном состоянии.

При небольшом содержании воды, что часто наблюдается в песчаных грунтах, свойства грунтов при переходе от положительной к отрицательной температуре почти не изменяются: грунт по-прежнему имеет свойства сыпучего тела.

Увеличение объема грунтов при замерзании обусловлено переходом содержащейся в грунте воды из жидкого состояния в твердое. Один объем воды при замерзании дает 1,091 объема льда, т. е. происходит увеличение объема на 9,1%. В соответствии с этим количество образующегося в грунте льда увеличивается, а следовательно, возрастает и объем грунта. Так, если пористость глинистого грунта составляет около 50% и все поры заполнены водой, то при замерзании 90% воды объем грунта увеличится примерно на 4%.

Увеличивающийся в объеме грунт встречает наименьшее сопротивление сверху. Поэтому при замерзании водонасыщенных грунтов происходит их поднятие (пучение). Там где грунты весьма влагоемки и сильно увлажнены, пучение может быть весьма ощутимым. Особенно сильно на вспучивание грунта при замерзании влияет увеличение его влажности, а следовательно, и объема за счет подсоса капиллярной и пленочной воды в зону промерзания (миграция воды) и ее замерзания. С вспучиванием грунтов при замерзании связано выталкивание фундаментов зданий, свай мостов, столбов и пр.

Морозная структура грунтов образуется вследствие замерзания содержащейся в них воды и миграционной воды, подтягивающейся в зону промерзания снизу. В результате этого в грунте образуются кристаллы, прослойки и линзы льда. При оттаивании грунт морозной структуры имеет большую влажность, часто превышающую влажность на пределе текучести, и отличается большей сжимаемостью, чем до промораживания.

С большой влажностью грунтов при разморзании связаны: осадка фундаментов сооружений, разрушение дорожных одежд, оползание грунтов на естественных склонах и насыпях и пр.

Водонепроницаемость мерзлых грунтов является их важной особенностью. Свободная вода, попадая в среду с отрицательной температурой, замерзает, а образующиеся кристаллы льда заполняют все доступные для воды пустоты. Поэтому мерзлые грунты

практически водоупорны. С этой особенностью связано заболачивание поверхностной толщи грунтов и широкое распространение болот и торфяников на значительной территории зоны, занятой вечной мерзлотой.

Подземные воды в зоне вечномерзлых грунтов. При наличии вечной мерзлоты подземные воды сосредотачиваются главным образом над мерзлотной толщей, но содержатся также в межмерзлотных слоях и в подмерзлотной толще. В соответствии с этим подземные воды в рассматриваемой зоне делятся на три класса: надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные.

Надмерзлотные воды залегают над вечной мерзлотой. Это грунтовые воды, или верховодка, образовавшиеся путем просачивания атмосферных осадков в летнее время и накопившиеся в деятельном слое. При небольшой толщине вечномерзлых грунтов надмерзлотная вода в зимнее время может полностью замерзнуть, переходя при этом в твердое состояние. Этот переход вызывает образование бугров, наледей и пучение пород.

Ввиду того что вода, замерзая в верхней части водоносного пласта, увеличивается в объеме, в нижней его части она будет находиться под повышенным давлением, которое будет расти по мере увеличения глубины промерзания. Под влиянием возникшего давления верхний слой мерзлого грунта изгибается. В некоторых местах изгиб может быть весьма значительным, принимая форму бугра. Такие бугры могут достигать высоты 20 м, а их диаметр 30 м и более. В центральной части бугра часто образуется трещина, из которой изливается вода, замерзающая на поверхности. Образовавшиеся таким путем толщи слоистого льда получили название грунтовых наледей, а бугры — наледных бугров.

Межмерзлотные воды являются водами слоистой мерзлоты. Уже указывалось на наличие их в некоторых местах в толще вечномерзлых грунтов с положительной температурой, связанной с движением теплых вод.

Межмерзлотные воды могут выходить на дневную поверхность на склонах холмов и гор или в глубоких выемках, что приводит к появлению в зимнее время так называемых ключевых наледей. Такие выходы могут быть использованы для водоснабжения при условии их термоизоляции на глубине промерзания.

Кроме воды в жидком состоянии, в толще многолетнемерзлых грунтов вода может находиться в виде льда. Наряду с мелкими кристаллами и линзами лед может залегать в виде целых пластов, получивших название ископаемых, или погребенных льдов. Мощность их может достигать нескольких десятков метров.

При изменении теплового режима в сторону увеличения притока тепла в толщу пород и неглубоком залегании ископаемых льдов происходит их таяние, причем в толще мерзлоты образуются большие и малые пустоты — термокарст. Вследствие обвалов и проседания этих пустот на земной поверхности образуются раз-

личного рода углубления: воронки, блюдца, окна, западины и пр. При большом числе таких просадочных форм образуется особый вид рельефа, получивший название *термокарстового*. Погребенные льды при оттаивании пополняют запасы подземных вод и питают озера.

Речные наледи. В рассматриваемой зоне мелкие реки, как правило, зимой промерзают. Остается сравнительно небольшое число глубоких рек, которые не промерзают, но покрываются толстым слоем льда. Эти реки, так же как и подмерзлотные воды, могут служить для водоснабжения.

При глубоком промерзании рек и образовании льда — донника — живое сечение рек уменьшается настолько, что не может пропустить всего расхода воды. Вследствие возникшего давления часть воды устремляется в рыхлые береговые отложения реки, где в наиболее слабых местах прорывается на поверхность. После замерзания этой воды на поверхности поймы образуются речные наледи, которые нередко занимают очень большие площади.

§ 4. Особенности строительства сооружений в зоне вечномерзлых грунтов

Строительство автомобильных дорог, мостов, зданий и других сооружений связано с устройством выемок и насыпей, с рытьем котлованов, забивкой свай, заложенных фундаментов и т. п. При всех этих работах изменяется естественный температурный режим горных пород, вследствие чего возникают различные явления, в той или иной мере влияющие на устойчивость сооружений.

При земляных работах прежде всего приходится встречаться со сложностью разработки твердых мерзлых грунтов и с необходимостью применения взрывчатых веществ для разрыхления таких грунтов или оттаивания их с помощью «пожогов» или пропаривания. Устроенные по существующим правилам откосы выемок в мерзлых грунтах после первой же зимы оттаивают и вследствие пересыщенности водой оплывают.

В зимнее время выемки являются участками, где наиболее часто появляются грунтовые и ключевые наледи, а также пучины. По этим причинам при изыскании трасс автомобильных дорог избегают глубоких выемок. Трассу стараются вести по южным склонам холмов или вдоль высоких речных террас. Возвышенные места обычно менее влажны и обеспечивают возможность отвода поверхностных и грунтовых вод.

Наиболее неблагоприятны для проложения дорог болотистые или моховые тундровые равнины, получившие название *марей*. В них на небольшой глубине залегает вечномерзлая толща с большим числом включений чистого льда в виде линз и прослоев. При устройстве насыпей на марях происходит таяние мерзлых грунтов и льда, что может вызвать длительные просадки насыпей.

Трудными для проложения дорог являются также площади с термокарстовым рельефом. Здесь, кроме больших объемов земля-

ных работ, вызванных наличием понижений и провалов, существует опасность образования новых углублений как в процессе строительства, так и при эксплуатации дороги.

Поэтому при изыскании трасс автомобильных дорог кроме обычных инженерно-геологических обследований проводят дополнительные буровые работы для определения глубины залегания вечномерзлых грунтов вдоль всей трассы, выявления наличия термокарста и погребенного льда.

При строительстве автомобильных и железных дорог следует учитывать возможность образования вблизи дороги речных, ключевых или грунтовых наледей, так как они затрудняют нормальную эксплуатацию дороги, разрушают деревянные мосты и водопропускные трубы.

Мерзлые грунты, при условии сохранения отрицательной температуры, являются прочным и надежным основанием под фундаменты зданий и опоры мостов, но при оттаивании их способность воспринимать внешнее давление вследствие переувлажнения значительно уменьшается. Особенно это свойственно пылеватым и суглинистым грунтам, обладающим большой влагоемкостью.

Фундаменты зданий и опоры мостов в зимнее время смерзаются с влажными грунтами, в результате чего происходит поднятие (выпучивание) сооружений вместе с промерзающими грунтами. В зависимости от характера грунтов, степени их влажности и вида фундаментов выпучивание может иметь различные размеры. При наиболее неблагоприятном сочетании (пылеватые грунты, большая влажность, глубокое промерзание) выпучивание может достигать нескольких десятков сантиметров.

Из изложенного видно, что при строительстве различных инженерных сооружений в зоне вечномерзлых грунтов существует целый ряд особенностей, недоучет которых может привести к сокращению срока службы, внеплановому ремонту и снижению эксплуатационных качеств инженерных сооружений.

Автомобильную дорогу предпочтительно прокладывать на участках, благоприятных в инженерно-геологическом отношении, например там, где залегают скальные, крупнообломочные или песчаные грунты без ледяных прослоек и линз. Трассу, как правило, проектируют в насыпи. При этом следует избегать устройства выемок, особенно на участках с грунтами, имеющими повышенную влажность и льдистость. Выемки также нежелательны на заносимых снегом участках и в местах возможного образования наледей. Уменьшить высоту насыпей автомобильных дорог можно за счет укладки на поверхности грунта теплоизоляционных прослоек из местных материалов.

При строительстве по принципу сохранения мерзлого состояния грунта в основании высоту насыпи определяют исходя из учета конкретных мерзлотно-грунтовых условий. При этом следует проводить мероприятия по отводу поверхностных вод от насыпи, сохранять естественную поверхность и растительный покров в пре-

делах полосы отвода, а также устраивать бермы у насыпей, возводимых на участках с погребенными льдами.

В местах, где существуют наледы или возможно их появление в зависимости от гидрогеологических и мерзлотных условий, предусматривают временные или постоянные противоналедные устройства.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Глава XV

ОБЩИЕ ПРИЕМЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

§ 1. Общие сведения об инженерно-геологических обследованиях

Полевые обследования грунтов и учет геологических условий являются обязательным элементом проектно-изыскательских работ, связанных со строительством любых инженерных сооружений. При проектировании автомобильных дорог на стадии изысканий геологические и другие природные условия местности изучают для: 1) определения происхождения, состава, физико-механических свойств, степени устойчивости и распространения отдельных видов и разновидностей грунтов, в том числе и почв, а также условий их залегания; 2) гидрологической и гидрогеологической характеристики местности (характера поверхностного стока воды и ее испарения, уровня грунтовых вод и верховодки, направления грунтового потока, фильтрационной способности грунтов и др.); 3) выявления физико-геологических условий (наличия или возможности появления оползней, обвалов, осыпей, селевых выносов, многолетней мерзлоты, карста и др.); 4) характеристики климата (температуры, атмосферных осадков, ветров и пр.), рельефа местности и растительности; 5) определения обеспеченности района строительства местными строительными материалами (выявления мест залегания материалов и их качества, запасов, условий разработки и транспортировки); 6) установления возможности и целесообразности (в технико-экономическом отношении) применения методов укрепления вяжущими и другими веществами грунтов, отходов промышленности и малопрочных (некондиционных) каменных материалов для устройства конструктивных слоев дорожных одежд.

Знание природных условий местности, свойств грунтов и правильный учет их особенностей позволяют выбрать наилучший вариант при проектировании автомобильной дороги и принять обоснованные технические решения, обеспечивающие надлежащую устойчивость земляного полотна, дорожных одежд и других сооружений.

При проведении инженерно-геологических обследований и изучении грунтовых условий необходимо руководствоваться общестроительной классификацией грунтов, утвержденной Госстро-

ем СССР (ГОСТ 25100—82. Грунты. Классификация) и кратко изложенной в главах VIII (§ 1) и IX (§ 2).

Подробное изучение наличия, условий залегания, запасов и свойств местных строительных материалов, в том числе и отходов промышленности, дает возможность находить оптимальные и наиболее экономичные решения по использованию их при возведении земляного полотна и устройстве дорожных одежд с конструктивными слоями из укрепленных грунтов.

Недоучет природных условий при проложении дороги часто приводит к неоправданным расходам средств и труда, ухудшению качества работ и снижению устойчивости сооружений.

Для получения необходимых данных, характеризующих природные условия, при изыскании автомобильных дорог обязательно изучают свойства грунтов в придорожной полосе шириной 100—200 м вдоль всей дорожной трассы. Полнота и детальность грунтовых обследований отдельных участков проектируемой дороги бывают различны и зависят как от сложности природных условий того или иного участка, так и от технической категории проектируемой дороги.

Полевые работы являются основным этапом инженерно-геологических обследований. Они заключаются в описании (съемке) местности, изучении естественных обнажений, проходке и изучении буровых скважин, шурфов и проведении гидрогеологических исследований.

В равнинной или слабохолмистой местности изучают главным образом свойства и условия залегания грунтов и гидрогеологические условия. Кроме того, для разрешения вопроса о дорожно-строительных материалах одновременно с инженерно-геологическими обследованиями ведут геологоразведочные работы, направленные на выявление вблизи дорожной трассы тех горных пород, которые после соответствующего укрепления могут быть использованы в строительстве автомобильных дорог в качестве каменных материалов или грунтов.

На местности, где возможно проявление оползней, карста, обвалов и т. д., а также в местах возведения ответственных сооружений (больших и средних мостов, высоких насыпей, глубоких выемок) инженерно-геологические обследования ведут более полно: производят геологическую съемку местности, на большую глубину изучают грунты и гидрогеологические условия, уделяют внимание возможным воздействиям инженерного сооружения на природную обстановку и т. п. При больших объемах работ для решения приведенных выше задач проводят фотосъемку местности с применением аэрометодов.

Объем и характер полевых инженерно-геологических и других обследований зависят от сложности и степени изученности природных условий района изысканий, а также стадии проектно-изыскательских работ (технико-экономическое обоснование, технический проект, рабочие чертежи).

Целью изысканий на стадии технико-экономического обосно-

вания является сбор и анализ основных данных, характеризующих в общих чертах комплекс природных условий района изысканий. При этом объем собранных материалов (литературных и фондовых материалов, результатов аэрофотосъемки и др.) должен быть достаточным для оценки намеченных вариантов трассы и выбора основного направления проектируемой дороги. На этой стадии производят при необходимости осмотр и рекогносцировочное обследование на местности отдельных сложных участков (оползневых, мостовых переходов и др.).

Для составления технического проекта выполняемые в поле грунтовые обследования дополняют детальным изучением природной обстановки района проложения трассы по выбранному направлению и другим вариантам. При этом объем работ должен быть достаточным для обоснованного проектирования земляного полотна, дорожной одежды и дорожных сооружений.

При рабочем проектировании (стадия рабочих чертежей) полевые обследования грунтов выполняются: 1) в местах индивидуального проектирования (оползневые участки, участки глубоких выемок или со слабыми грунтами и др.), а также в районах с особыми природными условиями (например, с просадочными или засоленными грунтами, подвижными песками и др.); 2) на участках трассы, где появилась необходимость ее изменения; 3) в местах устройства дорожных сооружений, в случае смещения сооружения в плане или изменения их схемы и в ряде других случаев.

§ 2. Краткая характеристика применяемого оборудования

При полевых обследованиях грунтов и изучении условий их залегания, состава и мощности слоев и других особенностей наиболее широко и часто прибегают к бурению скважин глубиной до 50 м и более, проходимых станками механического бурения различной мощности.

Ручной ударно-вращательный способ бурения рекомендуется лишь в исключительных случаях в труднодоступных районах, куда доставка механизмов практически невозможна.

При бурении скважин должен обеспечиваться непрерывный отбор и осмотр керна. Это лучше всего достигается при использовании станков колонкового вибрационного и ударно-канатного бурения кольцевым забоем. В неустойчивых и водоносных грунтах обязательна обсадка труб для крепления стенок скважины. Отдельные элементы буровых инструментов изображены на рис. 36.

В тех случаях, когда мощность изучаемой толщи грунтов незначительна или доставка буровых станков затруднена и бурение скважин экономически невыгодно, прибегают к закладке шурфов глубиной до 5 м. Их закладывают и в том случае, когда необходимо тщательное послойное изучение свойств поверхностных слоев грунтов, в том числе и почвенного покрова. При заложении шурфов предпочтительно использование механических шурфопаттелей.

При линейных грунтовых обследованиях широко используют

изучение естественных обнажений и искусственно вскрытых строительных котлованов, выемок и т. п.

При описании обнажений, буровых скважин, шурфов и других выработок отбирают пробы грунтов или монолиты с ненарушенным сложением для последующего изучения свойств и состава грунтов в лаборатории.

Для механического бурения скважин кроме буровых станков необходимо также наличие всех основных принадлежностей бурового комплекта: штанг, обсадных труб, наконечников и пр.

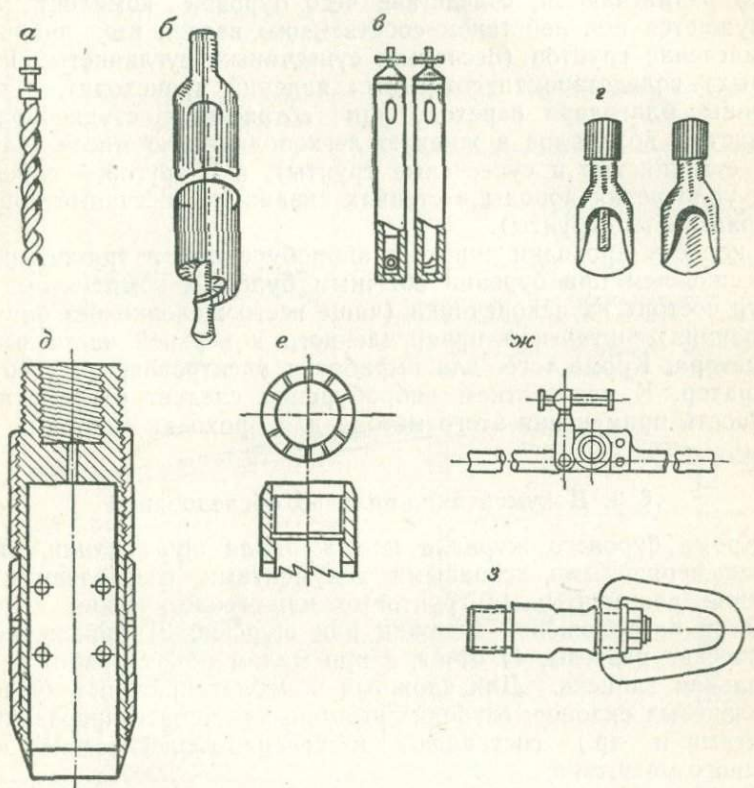


Рис 36. Части бурового инструмента:

а — змеевик; б — ложка; в — желонка; г — долото; д — грунтонос; е — фрезерный башмак; ж — жимки; з — вертлюг

Если при механическом бурении скальных горных пород необходимо получение пробы камня для лабораторных испытаний, применяется вращательное бурение буровой коронкой. На конце агрегата укрепляют полый цилиндр с винченным металлическим кольцом (коронка), в которое вставлены кусочки алмазов или заменяющие их резцы из сверхтвердого сплава — победита. При углублении агрегата в породу образуется цилиндрический столбик из камня — керн. Периодически штанги с наконечником

поднимают и керн вынимают. Он служит для характеристики проходимых пород.

В последнее время нашел широкое применение новый способ бурения скважин на глубину 15—20 м, разработанный группой советских ученых под руководством Д. Д. Баркана. Этот способ получил название вибробурения по той причине, что проходка скважин осуществляется путем вибрации.

Грунты, которым передаются высокочастотные колебания путем вибрации через наконечник бурового комплекта, при сотрясении размягчаются, вследствие чего буровой комплект легко погружается под действием собственного веса и веса вибратора. Размягчение грунтов (песчаных, супесчаных, суглинистых и глинистых) вследствие тиксотропных явлений происходит, с одной стороны, благодаря переходу при сотрясении студнеобразных глинистых коллоидов в жидкую легкоподвижную массу (глинистые, суглинистые и супесчаные грунты), а с другой, — в результате уплотнения породы в стенках скважины (песчаные и песчано-гравелистые грунты).

Скорость проходки скважин вибробурением в три-четыре раза выше, чем при бурении обычным буровым комплектом. Вибробур состоит из наконечника (чаще всего желонки без башмака и клапана), штанги и прикрепленного к верхней части штанги вибратора. Кроме того, для выработки электроэнергии требуется генератор. К недостаткам вибробурения следует отнести невозможность применения этого метода для проходки скальных грунтов.

§ 3. Документация полевых обследований

Кроме бурового журнала или журнала шурфования, являющихся первичными исходными документами, составляются следующие документы: 1) грунтовые или геологические колонки; 2) план расположения скважин или шурфов; 3) инженерно-геологические разрезы; 4) отчет, а при малом объеме работ — пояснительная записка. Для сложных и неблагоприятных участков (оползневых склонов, глубоких выемок, участков с просадочными грунтами и др.) составляют инженерно-геологические карты крупного масштаба.

Геологическая или грунтовая колонка представляет собой разрез по скважине или шурфу (рис. 37). Для составления колонки необходимо знать относительную или абсолютную отметку поверхности места заложения скважины (устья скважины), а также иметь буровой журнал со всеми записями, относящимися к данной скважине. Часто колонки составляют после лабораторных анализов, в результате чего уточняются названия грунтов, а в описании дается более точная характеристика их.

Инженерно-геологический разрез можно представить, если мысленно вертикально рассечь верхнюю толщу грунтов и нанести на чертеж в определенном масштабе обнажившиеся напластования. Этот разрез можно провести в любом направлении при гори-

зонтальном залегании пластов и в направлении, перпендикулярном к простиранию, если пласты наклонены.

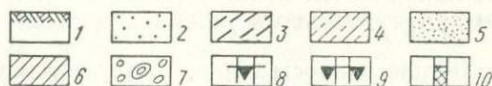
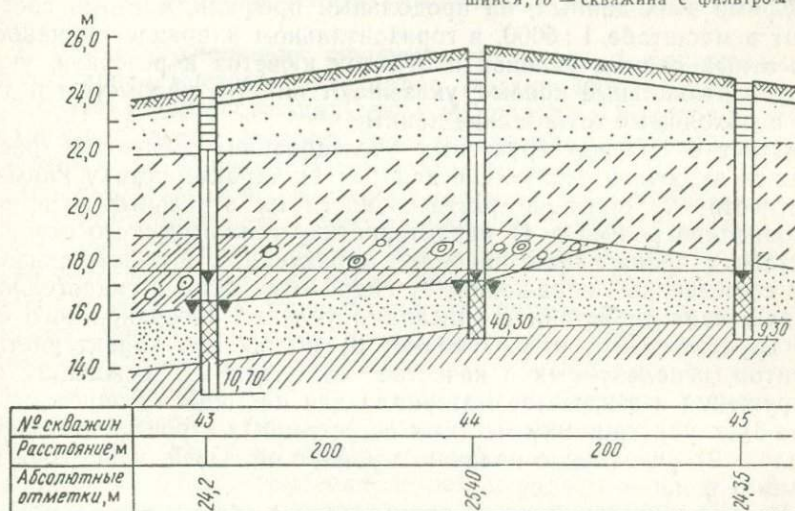
Разрез является весьма ценным геологическим документом, так как он показывает последовательность расположения горных



Рис. 37. Геологическая колонка

Рис. 38. Инженерно-геологический разрез:

1 — растительный слой; 2 — мелкозернистый песок; 3 — супесь крупная; 4 — супесь пылеватая; 5 — крупнозернистый песок; 6 — моренная глина плотная; 7 — галька; 8 — уровень грунтовых вод установившийся; 9 — уровень грунтовых вод появившийся; 10 — скважина с фильтром



пород (грунтов), выдержанность пластов, углы падения и естественную связь между отдельными пластами и их группами. На инженерно-геологическом разрезе показываются уровень грунтовых вод и степень плотности грунтов (категория по трудности разработки) (рис. 38).

Определение гранулометрического состава грунтов в полевых условиях производят, руководствуясь признаками, указанными в приложении II.

При обследовании дорожной трассы на всем протяжении составляют несколько упрощенный инженерно-геологический разрез, получивший название продольного грунтового разреза, который наносят на продольный профиль проектируемой дороги. Этот документ составляется в следующем порядке.

1. На продольном профиле автомобильной дороги на расстоянии 2 см ниже линии, отмечающей положение поверхности земли, проводят параллельную линию; на ней в местах закладки шурфов помещают колонки грунтов. Вертикальный масштаб для грунтов при этом берется 1 : 50, а горизонтальный — в соответствии с масштабом продольного профиля трассы дороги. Одноименные грунты на смежных разрезах соединяют прямыми линиями. Между колонками грунтов делают надписи наименований грунтов по гранулометрическому составу. 2. На колонки грунтов наносят также другие данные, влияющие на устойчивость дорожного полотна: уровень грунтовых вод, границы оглеения, уровень многолетней мерзлоты и т. д. 3. В особой графе ниже километровых и пикетных отметок вычерчивают план придорожной полосы на 100 м в обе стороны от оси трассы в масштабе продольного профиля.

Кроме этих данных, на продольный профиль, который составляют в масштабе 1 : 5000, в горизонтальном направлении наносят проектные данные уклонов и отметок кюветов и резервов, уклоны и вертикальные кривые, указывают пикеты, километры и другие необходимые технические данные.

Отчет о полевых грунтовых обследованиях дорожной трассы должен включать следующие данные: 1) характеристику климата местности; 2) описание растительности на отдельных участках; 3) описание рельефа; 4) характеристику геологического строения местности с описанием наиболее характерных шурфов, скважин или естественных обнажений; 5) гидрологическую и гидрогеологическую характеристики с описанием условий поверхностного стока, грунтовых вод и верховодки; 6) подробную характеристику грунтов, используемых в качестве естественных оснований под сооружения и в качестве материала для насыпей; 7) описание болот; 8) характеристику местных естественных строительных материалов; 9) указания о наличии в районе оползней, карстовых явлений и т. п.

В заключительной части отчета дается общая оценка природной обстановки применительно к условиям возведения сооружений.

§ 4. Общие вопросы охраны природы и защиты окружающей среды

В связи с возрастающими объемами строительства и расширением сети автомобильных дорог большое значение приобретает правильное решение вопросов, связанных с охраной природы и защитой окружающей среды.

В процессе строительства и эксплуатации автомобильных дорог может происходить изменение геологических, гидрологических и гидрогеологических условий, загрязнение атмосферного воздуха выхлопными газами, возникновение шума и вибрации, а также загрязнение воды и почвы. Поэтому уже на стадии проектирования дорог (при выборе трассы) необходимо стремиться к тому, чтобы перечисленные изменения были исключены или сведены к минимуму.

Правильное трассирование дорог, выбор и способы разработки месторождений дорожно-строительных материалов (камня, песка, гравия), выбор участков размещения производственных баз, разработка противоэрозионных и противооползневых мероприятий обеспечат сохранение плодородных земель и ценных лесных массивов. Необходимо охранять и обходить места размножения, питания и отстрела диких животных и птиц, а также пути их миграции.

Следует избегать проложения автомобильных дорог и разработки месторождений дорожно-строительных материалов в заповедниках и участках леса, выделенных для научных целей (в реликтовых лесах, являющихся памятниками природы и семенными угодьями, в лесопарках и вблизи памятников архитектуры, в берегозащитных полосах, в лесах, расположенных на склонах оврагов, балок, а также на легкоразмываемых и выветриваемых грунтах).

В целях удешевления строительства дорог и максимального использования местных материалов (взамен привозимых издалека и поэтому дорогостоящих) следует проводить подробное обследование и изучение состава, свойств, запасов и условий заготовки и вывоза различных отходов промышленности.

Использование для дорожного строительства обломочных отходов промышленности, представляющих собой искусственные грунты (золшлаковые смеси, металлургические шлаки, отвалы каменноугольных шахт, горелые пески и др.), способствует оздоровлению атмосферы, уменьшению источников пыли в местах их складирования, сокращению площади земель, занимаемых такими отходами. Отходы промышленности часто используют в укрепленном виде или применяют их в качестве медленно твердеющих вяжущих веществ, а также поверхностно-активных или активных веществ (если они обладают этими свойствами).

В районах распространения вечной мерзлоты или на границе с ними сложность строительства автомобильных дорог заключается в том, что на протяжении многих сотен километров дорога пересекает самые разнообразные ландшафты.

Вырубка леса, устройство земляного полотна, разработка выемок и закладка карьеров, а также резервов в этих региональных условиях неизбежно нарушают исторически сложившееся равновесие физико-географических факторов и мерзлотно-грунтовых условий. В результате развиваются такие отрицательные явления, как термокарст, термоэрозия, мерзлотное растрескивание

или образование наледей, изменяется рельеф местности, активизируются оползни и эрозия (размывание) почв. Поэтому земляное полотно и другие сооружения следует проектировать на базе мерзлотного прогноза с учетом величины среднегодовой температуры грунтов и глубины их сезонного протаивания и промерзания.

Если на севере нашей страны, в зоне вечной мерзлоты важное значение имеет изучение и учет перечисленных выше природных особенностей, то в южных областях (в Казахстане, Туркмении и Узбекистане) создатели дорог очень часто сталкиваются с необходимостью осуществления на большой территории дорогостоящих мероприятий, обеспечивающих закрепление в придорожной полосе подвижных песков в целях предохранения дороги от песчаных заносов.

В условиях жаркого и сухого климата в песчаных пустынях (например, Каракумах, Кызылкумах и др.) небольшое нарушение даже редкого травянистого покрова и кустарниковой растительности приводит к переносу под действием ветра огромных масс песка на большие расстояния (ветровая эрозия). В результате этого на дорогах образуются песчаные заносы. Высота отложившегося на дороге песка иногда достигает многих метров. Часто имеет место и обратный процесс — выдувание и переотложение песка. В этом случае песчаное земляное полотно при сильном ветре на многие километры полностью или частично выдувается, что вызывает необходимость его укрепления или возобновления.

Приведенные примеры свидетельствуют о весьма большом разнообразии природных явлений, которые всегда необходимо учитывать и принимать правильные решения, обеспечивающие сохранение окружающей среды и охрану природы.

Во всех дорожно-климатических зонах при строительстве автомобильных дорог обязательно должны осуществляться эффективные мероприятия, в максимальной степени обеспечивающие сохранение растительности и рекультивацию земель в полосе отвода, а также правильное использование гумусированного (растительного) слоя.

Глава XVI

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ ВДОЛЬ ТРАССЫ

§ 1. Обследование грунтов вдоль трассы в целях устройства земляного полотна

В СССР инженерно-геологические обследования грунтов вдоль трассы вначале получили развитие при проектировании и строительстве грунтовых дорог, для которых местные грунты (в основном почвенный слой) служат не только основанием, но и, как правило, являются строительным материалом. Основы методики этих обследований были разработаны М. М. Филатовым, В. В. Охо-

тиным, М. И. Волковым и другими в период 1925—1932 гг. Эти методы получили признание и распространение и за рубежом. В дальнейшем в задачу полевых грунтовых (инженерно-геологических) обследований местности вдоль трассы было включено изучение всего комплекса природных условий (грунтов, в том числе и почв, грунтовых вод, местных дорожно-строительных материалов и пр.) с тем, чтобы получить возможность учитывать их влияние при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог.

В последние годы в связи с широким развитием и внедрением в дорожное строительство различных методов укрепления грунтов в задачу полевых обследований входит также подробная характеристика местных грунтов (крупнообломочных, песчаных, глинистых) как дорожно-строительных материалов, используемых для укрепления их вяжущими материалами. При этом изучают состав и свойства отдельных видов грунтов, выясняют их генезис и другие особенности и фиксируют границы распространения.

Основным видом выработок, с помощью которых производится подробное изучение пространственного распространения и вертикального строения отдельных типов грунтов вдоль изучаемой трассы, являются шурфы. Применяются механические шурфопопатели и бурение почвенными бурами различной конструкции. Основные шурфы и скважины закладываются на наиболее характерных элементах рельефа (водораздельных плато, склонах, гребнях холмов или, наоборот, в низинах). Шурфами вскрываются почвенный слой и подстилающая его материнская порода.

Для установления границ распространения отдельных разновидностей грунтов вместо глубоких основных шурфов закладывают более мелкие выработки, называемые полушурфами, глубиной 0,8—1 м.

Число шурфов и полушурфов может колебаться в широких пределах и зависит как от масштаба проводимых работ, так и от рельефа, гидрогеологических условий местности и других факторов. В среднем при подробных изысканиях рекомендуется закладывать один глубокий шурф на каждые 0,5—1 км и полушурф на каждые 0,25—0,5 км.

В равнинной местности при отсутствии ярко выраженного микрорельефа глубокий шурф и полушурф достаточны для характеристики грунтовых условий на значительной территории (через 3—5 км). На местности с широковолнистым рельефом и ровными пологими склонами шурф, заложенный в середине склона, будет характеризовать средние грунтовые условия всего склона. Правильность этой характеристики проверяют путем заложения полушурфов в верхней и нижней частях склона. При холмистом рельефе обычно основной глубокий шурф закладывают на вершине холма, другой глубокий шурф — на пологом склоне. На противоположной части склона делается полушурф. В котловинах или широких ложбинах между холмами основной шурф закладывают на дне понижения, а на склонах делают полушурфы.

В случае прохождения трассы по территории с развитым микро-рельефом основные шурфы закладываются по основным элементам микрорельефа.

Прежде чем приступить к изучению шурфа, вертикальную стенку, подлежащую осмотру, зачищают лопатой и после внимательного осмотра по внешним признакам (окраске, плотности, структуре и т. п.) выделяют отдельные слои или почвенные горизонты. Затем приступают к послойному описанию шурфа, обращая внимание на следующие характеристики: мощность слоя, цвет, гранулометрический состав, структуру, влажность, сложение, плотность, содержание органических примесей и др. (см. гл. XIII, § 4).

При описании шурфов и других выработок особое внимание уделяется также признакам оглеения, уровню грунтовой воды или верховодки, глубине скопления извести или гипса. В поле-вом журнале дается подробная характеристика окружающей местности (рельефа, условий поверхностного стока, растительности и пр.).

При расположении выработок на местности следует обращать внимание на смену растительности, поскольку отдельные комплексы растительных форм встречаются только при определенных сочетаниях почвенных и гидрогеологических условий. Так, например, на систематически переувлажняемых почвах появляются болотные растения. Существуют растения, встречающиеся только на засоленных почвах при определенной степени засоления. Стрелевая сосна растет обычно на песчаных грунтах. Наличие на болотах черной ольхи свидетельствует о движении грунтовых вод в глубине торфяной залежи.

Для уточнения правильности данных полевого определения гранулометрического состава и влажности грунтов и проведения других лабораторных испытаний отбираются пробы наиболее характерных видов грунтов с нарушенным и ненарушенным сложением.

В результате полевых и лабораторных обследований грунтов составляются следующие документы: 1) полевой журнал с подробным описанием грунтов и гидрологических условий вдоль трассы (с ее вариантами); 2) продольный грунтовой разрез и поперечные разрезы; 3) ведомость наиболее характерных анализов и испытаний; 4) пояснительная записка о проведенных обследованиях грунтов с кратким анализом всего комплекса природных факторов.

§ 2. Обследование оползневых участков, глубоких выемок, косогоров и других мест

В процессе изыскания автомобильной дороги могут встретиться участки со сложными грунтовыми, гидрогеологическими и другими условиями, требующие более детального изучения и индивидуального проектирования инженерных мероприятий, а также места, где грунт предполагается подвергать укреплению вяжущими.

щими материалами в целях устройства конструктивных слоев дорожных одежд.

К местам индивидуального проектирования относятся: 1) оползневые участки; 2) высокие насыпи (выше 12 м); 3) выемки глубиной более 12 м и мокрые выемки; 4) мостовые переходы; 5) участки, подверженные селевым выносам; 6) участки с просадочными лёссовыми грунтами; 7) болота и участки со слабыми грунтами, а также другие места со сложными природными условиями. На перечисленных участках полевые обследования, как правило, производят по специально составленной программе.

Оползни. Оползневыми принято называть такие участки, где наблюдается медленное оползание земляных масс по склонам, происходящее под влиянием силы тяжести и связанное с действием подземных и поверхностных вод.

Оползни чаще всего можно наблюдать на крутых склонах речных долин или гор, на побережьях морей. Огромными размерами отличаются оползни Черноморского побережья Крыма, Кавказа и правого берега р. Волги. Оползневые явления наблюдаются также во многих местах на берегах Днепра, Кубани, Днестра, Северского Донца, Оки и других больших и средних рек.

В крупных оползнях массы грунтов, смещаясь по склону вниз, часто увлекают за собой здания, дороги и другие сооружения или, наоборот, надвигаются на них; и в том, и в другом случаях они разрушают сооружения, принося этим огромный ущерб.

Оползневые явления могут возникать на склонах различной крутизны, у которых угол падения поверхностных слоев склона α больше угла внутреннего трения φ грунта склона.

Так как глинистые и суглинистые грунты при большом увлажнении имеют очень малый угол внутреннего трения φ , то практически оползни могут возникать при крутизне склона 5° и более. При этом чем больше разница в значениях α и φ , тем больше оснований сомневаться в устойчивости склона.

Оползневые явления по различным причинам могут происходить в самых разнообразных грунтах. Однако чаще всего они отмечаются в глинистых и суглинистых грунтах делювия, элювия, реже в коренных отложениях. Это связано с тем, что при увлажнении глинистых и суглинистых грунтов уменьшается коэффициент внутреннего трения f и сцепление c .

Увлажнение грунтов склона может происходить: 1) сверху, за счет просачивания атмосферных вод или подтока воды, притекающей со стороны водораздела. В этом случае будет происходить увлажнение грунтов склона, что вызовет увеличение их массы и одновременно уменьшение сил трения и сцепления. К оползням, образовавшимся за счет такого увлажнения, относятся, в частности, наблюдаемые иногда в дорожных выемках сплывы, или осплывы; 2) снизу, вследствие капиллярного увлажнения грунтов подошвы склона водой из открытых водоемов, например из рек; 3) за счет притока подземных вод, что наблюдается наиболее

часто. Грунтовые и межпластовые воды могут двигаться к склону по пласту или трещинам и вызывать размягчение грунтов склона, а также вызывать растворение породы (например, прослоек гипса). Наибольшие по размерам оползни отмечены при питании склонов подземными водами.

Устойчивость склонов во многом связана также с условиями залегания горных пород, слагающих склон. При прочих равных условиях горизонтальное залегание пластов склона более устойчиво, чем наклонное с падением в сторону склона, так как в последнем случае может произойти смещение пород по поверхности наклонного пласта. Наиболее устойчив склон, пласты которого имеют падение в сторону, противоположную падению склона.

В некоторых случаях смещение земляных масс происходит вследствие того, что слагающие склон горные породы сильно трещиноваты. Одна из трещин может оказаться плоскостью скольжения.

Противооползневые мероприятия, которые предлагаются на основе проведенных полевых обследований, могут быть разделены на предупредительные и коренные.

Предупредительные мероприятия применяют там, где смещение склона в момент обследования или строительства не происходит. К ним относятся: 1) отвод и регулирование поверхностных вод; 2) сохранение на склонах древесной и кустарниковой растительности, а при их отсутствии — облесение склонов; 3) дернование склонов с целью предупреждения возможного образования сплывов на откосах выемок; 4) отказ от возведения на опасных склонах больших зданий, насыпей и т. п., а также устройства глубоких выемок; 5) принятие мер против размывания береговых склонов (устройство струенаправляющих дамб, волноотбойных стенок и др.). Для устранения появившихся оползней применяются коренные мероприятия: 1) отвод поверхностных вод; 2) отвод подземных вод; 3) мероприятия по механическому удержанию грунтовых вод.

Если главной причиной появления оползня является увлажнение склона поверхностными водами, необходимо упорядочить поверхностный сток, перехватить воду нагорной канавой и отвести ее в сторону от оползневого склона. Поверхностно увлажняемые оплывы часто укрепляют дернованием или устройством открытых дрен (лотков, загруженных камнем, шлаком или гравием).

Если основным фактором, способствующим образованию оползней, являются подземные воды, необходимо обеспечить перехват и отвод воды из того пласта, который питает склон. Это достигается устройством глубокого дренажа, закладываемого таким образом, чтобы нижняя часть его была несколько ниже подошвы водоносного пласта.

Из других коренных мероприятий необходимо указать на следующие: 1) устройство подпорных стенок из бутовой кладки или

бетона; 2) забивку в основание оползневого склона железобетонных или металлических свай; 3) отсыпку насыпи у подошвы оползня для создания упора — контрфорса; 4) искусственное закрепление грунтов. Эти мероприятия способствуют механическому удержанию сползающих масс.

Осыпи и обвалы. Образующиеся на крутых склонах гор продукты физического или физико-химического выветривания горных пород в виде мелкого щебня или дресвы под действием силы тяжести перемещаются к подножиям склонов, где образуют конические накопления, получившие название осыпей. Наклон поверхности осыпи соответствует углу естественного откоса в сухом состоянии той породы, из которой образовалась осыпь.

Различают осыпи действующие, т. е. обнаженные, не заросшие растительностью, весьма подвижные, и затухшие, т. е. задерненные, неподвижные. Действующие осыпи весьма опасны при проложении и эксплуатации автомобильных дорог в горах, так как легко могут прийти в движение, сползти и засыпать дорогу.

Сползание действующих осыпей происходит главным образом в связи с их увлажнением. При переувлажнении происходит смещение всей осыпи или некоторой ее части. Наклон поверхности смещенной осыпи обычно соответствует углу естественного откоса породы в насыщенном водой состоянии.

Обвалом принято называть внезапный отрыв от массива больших масс горных пород, которые устремляются вниз, опрокидывая и разрушая встретившиеся на пути скалистые выступы. Обвалы происходят вследствие неравномерного физико-химического выветривания пород на вершинах гор или на крутых скалистых склонах у щелевидных долин горных рек. В основном это относится к сильно трещиноватым породам — известнякам, песчаникам, базальтам, порфирам и диабазам, реже — к глубинным изверженным горным породам.

Глубокие выемки. В местах заложения глубоких выемок оползневые участки и косогоры подвергаются особенно тщательному обследованию, задачами которого являются: 1) установление порядка напластований и характера грунтов, залегающих на участке будущих работ, и определение степени трудности их разработки; 2) выявление условий залегания грунтов (горизонтальное, наклонное, складкообразное и т. п.); 3) определение водоносности отдельных пластов, направления, скорости и расхода грунтового потока, а также фильтрационных свойств водоносных пород; 4) установление степени устойчивости откосов выемки и грунтов основания и разработка мероприятий по их укреплению; 5) определение способов разработки и путей использования грунтов выемки.

Для решения этих задач на изучаемом участке закладываются шурфы или скважины, которые размещают так, чтобы в дальнейшем через них можно было провести продольный разрез по оси трассы и один или несколько, в зависимости от длины выемки,

поперечных разрезов. Расстояние между выработками 50—100 м устанавливается в зависимости от длины выемки, рельефа местности, степени сложности геологических условий. Шурфы или скважины должны закладываться на 2 м ниже отметки проектируемой выемки.

В результате обследования составляют: 1) план расположения скважин (шурфов) на изученном участке с нанесением оси трассы, привязки к пикетажу и ситуации местности; 2) геологические колонки по всем шурфам (скважинам), заложенным на участке; 3) продольный и поперечные грунтовые разрезы; 4) пояснительную записку с подробным изложением результатов изучения геологических условий и их оценкой.

§ 3. Обследование мостовых переходов

Основными задачами инженерно-геологического обследования участков строительства мостов являются: 1) получение данных о геологическом строении местности, в частности определение характера грунтов, их состава, степени плотности и влажности, последовательности и условий залегания; 2) изучение гидрогеологических условий мостового перехода: водоносности грунтов, агрессивности вод, появившегося и установившегося уровней воды и т. п.

Наиболее устойчивым естественным основанием являются скальные грунты, если они не размываются водой, малотрещиноваты, имеют достаточную мощность слоя и не подвергались сбросовым явлениям. Устойчивым основанием могут быть также моренные (ледниковые) глины и суглинки и аллювиальные гравийные и крупнопесчаные отложения при условии их достаточной мощности.

Наиболее неблагоприятными основаниями для опор мостов являются торф, сапропель, пльвуны и иловатые грунты, насыщенные водой. Неблагоприятными основаниями являются также и другие грунты, если они маломощны и чередуются с другими малоустойчивыми грунтами.

Большинство мостов возводится при пересечении дорожной трассы речных долин, где на некоторой глубине залегают коренные породы или ледниковые отложения, перекрытые более или менее мощным слоем аллювиальных отложений (гравий, песок, иловатые породы и пр.) или органогенных образований (торф). Для получения необходимых данных проводятся инженерно-геологическая съемка района мостового перехода и разведочное бурение по оси намечаемого моста как в русле реки, так и на пойменных подходах к мосту.

Разведочные буровые скважины закладываются в каждом варианте с расчетом получения инженерно-геологического разреза по оси моста. Число скважин и их глубина зависят от размера моста и сложности геологических условий; для малых мостов и больших труб — одна-две скважины глубиной 6—8 м, для средних мостов — три-пять скважин глубиной 10—15 м, для больших мостов — шесть и более скважин глубиной от 15 до 30 м.

Кроме того, проходят несколько скважин на пойменных подходах к мосту: в среднем на каждые 300—400 м поймы — одну скважину глубиной 4—6 м. В первую очередь скважины закладывают у намечаемых опор мостов с последующим уточнением, если это необходимо, геологического строения дополнительными скважинами. При наличии ненадежных грунтов в пойме также проходят дополнительные скважины, иногда их располагают по поперечникам.

Буровые работы в русле реки ведутся по возможности зимой со льда. При необходимости проведения их в летнее время бурение проводят с плота или понтона. При наличии на небольшой глубине скальных грунтов скважины углубляют в них не менее чем на 2 м, чтобы убедиться в том, что это не одиночный валун, а массив.

При проходке связных или несвязных грунтов бурение останавливают только в том случае, когда намечаемый в качестве грунтового основания пласт пройден на глубину не менее 3 м. В процессе бурения скважин составляют буровой журнал и отбирают пробы грунтов для описания и лабораторных испытаний.

В итоге проведенных работ составляются следующие документы: 1) план мостового перехода с нанесением на него данных инженерно-геологической съемки и точек заложения буровых скважин; 2) геологические колонки по всем скважинам; 3) инженерно-геологический разрез по оси мостового перехода; 4) пояснительную записку с данными лабораторных испытаний грунтов и общей оценкой геологических условий мостового перехода.

§ 4. Обследование болот

При постройке дорог, пересекающих болота, возникают трудности в обеспечении устойчивости насыпи, поэтому при изыскании дорог стремятся по возможности обходить болота. Если этого сделать нельзя, тщательно обследуют болота с целью выбора того или иного способа возведения на нем насыпи, а в отдельных случаях и с целью выбора наилучшего варианта перехода через болото.

Задачами обследования являются: 1) определение вида болота и условий питания его водой; 2) установление глубины и рельефа дна болота в полосе перехода через него; 3) выяснение вида и физико-механических свойств торфа (по слоям), сапропеля и минерального дна; 4) выбор наилучшего варианта перехода через болото на основе оценки условий по каждому из вариантов.

Работы по обследованию складываются из составления плана болота в месте перехода, зондирования болота, лабораторных исследований и камеральной обработки материалов.

План болота составляется путем простейшей инструментальной съемки; на план наносят контуры болота, растительность, незаросшие водные пространства («окнища»), а также точки заложения буровых скважин.

Зондирование болота проводится с целью определения его глубины, мощности и состава торфа и сапропеля, а также отбора их проб для лабораторных испытаний.

Скважины для зондирования располагаются по поперечникам таким образом, чтобы средние лежали на оси дорожной трассы. Это позволяет проследить изменение глубины болота как в продольном, так и в поперечном направлениях. Расстояние между скважинами в поперечнике и между поперечниками не должно превышать 25—30 м. При этом, если между соседними скважинами глубина болота более 1 м, закладывают дополнительную промежуточную скважину. При пересечении большого и однородного болотного массива расстояние между скважинами может быть увеличено.

Бурение скважин ведется специальными болотными бурами: зондировочным, буром Инсторфа и др. Наконечником зондировочного бура можно отбирать пробы торфа с нарушенным сложением, а челноком бура Инсторфа — с ненарушенным сложением.

Как правило, бурение продолжают до минерального дна. В процессе бурения через каждые 0,5—1 м отбирают пробы торфа и сапропеля для определения их вида, степени разложения и влажности. Эти определения проводятся как в полевой обстановке, так и в лаборатории.

Вид торфа устанавливают на основании изучения неразложившихся или полуразложившихся растительных остатков. Различают следующие виды торфа: гипновый, сфагновый, древесно-сфагновый, осоковый, тростниковый, осоково-древесный, древесный и др.

Для оценки болота большое значение имеет степень разложения торфа, представляющая собой отношение бесструктурной (полностью разложившейся) части, включающей гуминовые кислоты и мелкие частицы негумифицированных остатков растений, к общему количеству торфа, выраженное в процентах (определяется по ГОСТ 10650—72). Степень разложения торфа характеризуется также его зольностью.

Степень зольности торфа представляет собой отношение массы минеральной части торфа ко всей его массе, выраженное в процентах (определяется по ГОСТ 11306—65). Торфы с большой зольностью более минерализованы, имеют большую степень разложения и более устойчивы, чем торфы с малой зольностью.

В результате полевых обследований болота составляют план болота на участке пересечения его дорожной трассой, а также продольный и поперечный профили (рис. 39).

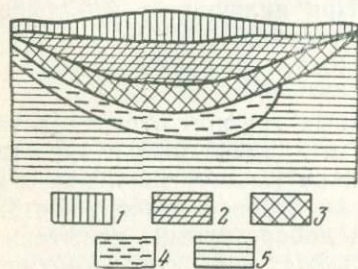


Рис. 39. Схема продольного разреза через болото:

1 — торф осоково-сфагновый; 2 — торф осоково-древесный; 3 — торф тростниковый; 4 — сапрпель; 5 — моренная глина

Лабораторные исследования отобранных проб торфа и сапротелы уточняют полевые характеристики в отношении вида, степени разложения, растекаемости и влажности. Кроме того, при необходимости в лаборатории определяют зольность и сжимаемость торфа.

Общая оценка болота делается исходя из способности торфяной залежи воспринимать внешнюю нагрузку (несущая способность). В соответствии с несущей способностью торфяной залежи устанавливаются высота насыпи на болоте и способ ее возведения.

§ 5. Геофизические методы разведки

В целях ускорения проведения разведочных работ, уменьшения их стоимости и для оценки свойств и состава грунта в больших массивах в условиях их естественного залегания в последнее время все шире применяют геофизические и радиометрические методы исследования свойств грунтов. Эти методы основаны на изучении искусственно создаваемых в толще грунта физических полей (электрических, магнитных, сейсмических).

Применение геофизических методов в сочетании с буровыми работами дает возможность сократить объем бурения и повысить качество (достоверность) проводимых исследований.

Особую ценность геофизические методы разведки приобретают при изысканиях в труднодоступных (горных и др.) районах, где выполнение механизированных буровых работ невозможно из-за трудности доставки оборудования. Такие методы необходимо также применять и в районах, где имеются оползни, осыпи или карст, поскольку в этих случаях нельзя разрешить все необходимые вопросы одними лишь инженерно-геологическими методами.

Исходя из этих положений, разработаны сейсмический, магнитометрический и электрический методы разведки. Из перечисленных методов в инженерно-геологической практике наибольшее применение получил метод электроразведки.

Горные породы поверхностной толщи земной коры имеют различную электропроводность, характеризующуюся удельным сопротивлением прохождения электрического тока. Так, например, удельное сопротивление (в Ом·см): сухого известняка $5 \cdot 10^7$, влажного песка $2 \cdot 10^5$ — $4 \cdot 10^6$, глины сухой 10^3 — 10^6 , глины влажной 10^2 — $5 \cdot 10^3$. На этой особенности горных пород и основывается метод электроразведки.

Для получения необходимых показателей обычно измеряют силу тока в цепи и разность потенциалов между измерительными электродами, устанавливаемыми на изучаемом участке. Для измерения силы тока пользуются амперметром, а для измерения напряжения — вольтметром.

Если на пути движения электрического тока встречаются породы, имеющие большую или меньшую электропроводность, то

порисходит неравномерное изменение потенциала между двумя измерительными электродами. При этом эквипотенциальные линии значительно отклоняются от их направлений в однородной среде.

Замеряя силу тока в цепи и напряжение между измерительными электродами, устанавливаемыми в различных точках на местности, определяют удельное сопротивление породы, а по ним и ее вид. Для определения глубины залегания пород изменяют расстояние между питающими электродами.

Работы по электроразведке пород, контролируемые бурением, дали удовлетворительные результаты и показали возможность применения этого метода в различных вариантах (электропрофилирование, вертикальное электроразведывание и др.) при разведке грунтов на мостовых переходах, при установлении глубины залегания многолетней мерзлоты, на участках заложения глубоких выемок, при разведке болот, месторождений строительных материалов и пр.

Особенно хорошие результаты получены при установлении глубины залегания скальных пород. Отклонения от действительной глубины залегания пород, устанавливаемой бурением, при изучении толщи до 10 м не превышали 8,5 %. При разведке рыхлых горных пород необходимо параллельно с электроразведкой проводить в небольшом объеме бурение для корректирования данных электроразведки.

Г л а в а XVII

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. Предварительная разведка

Строительство автомобильных дорог требует большого количества каменных материалов, песка и др. На 1 км автомагистрали I, II технических категорий требуется более 3000 м³ щебня. В связи с этим обеспечение такого строительства дорожно-строительными материалами должно идти по пути максимального использования тех скальных и обломочных горных (гравия, песка, дресвы) пород, которые залегают на поверхности или на некоторой глубине вблизи строящегося объекта. Эти материалы являются наиболее дешевыми, и применение их позволяет снизить стоимость строительства дороги и сэкономить значительное количество транспортных средств при перевозке материалов. Следует отметить, что при перевозке щебня по железной дороге на расстояние 600—1000 км к месту проведения работ стоимость 1 м³ щебня увеличивается в четыре-пять и более раз.

Удобные для разработки участки залегания горных пород получили название месторождений. Месторождения, на которых разработка материалов проводится открытыми горными

выработками, называют карьерами. В дорожном строительстве карьеры строительных материалов бывают двух видов: притрассовые и базисные (промышленные). Притрассовые карьеры расположены вблизи трассы, обслуживают только данную дорогу или ее отрезок, и добываемый в них материал вывозится на дорогу автомобильным транспортом. Базисные карьеры предназначаются для снабжения дорожно-строительными материалами ряда строек. Они могут быть удалены от строительных объектов на 100 км и более, в связи с чем обслуживаются железной дорогой или водными путями.

Для отыскания месторождений или карьеров природных материалов обычно ведутся поиски в районе проложения трассы проектируемой дороги. После того, как месторождение или карьер выявлены, производят их разведку. Под этим термином понимают установление качества, количества и условий залегания материалов на выявленном поисками участке. Различают два вида разведок: предварительную и детальную. В процессе их проведения обследуют не только месторождения камня и песка, но и отходов промышленных предприятий (шлаковых и других отходов, пустых пород, отходов камнедробления), а также карьеров грунтов, наиболее пригодных для укрепления их вяжущими материалами. Предварительная разведка ведется во время технических изысканий, детальная — на стадии рабочего проектирования, осуществляемого во время строительства дороги.

Подготовительные работы. Перед началом поисков тщательно изучают литературу и картографические материалы, относящиеся к району изысканий. Весьма полезны при этом геологические материалы (описания отдельных районов, материалы геологического исследования района, подробные геологические карты с пояснительными записками и пр.) и данные, характеризующие минеральное сырье области или республики (описания строительных материалов, карты карьеров и сырьевых ресурсов), имеющиеся в фондах геологических организаций.

По собранным данным можно составить первое представление о возможности обеспечения строящейся дороги местными дорожно-строительными материалами.

Полевые работы. В зависимости от степени обеспечения района природными материалами ширина полосы, в границах которой ведутся обследования карьеров и месторождений вдоль проектируемой дороги, может колебаться в широких пределах. Чаще всего она составляет 10—20 км для песка и достигает 20 км и более для гравия и камня. В горах или местности, богатой строительными материалами, ширина полосы может быть значительно уменьшена, а в местности, бедной материалами, значительно увеличена.

По прибытии к месту расположения карьера или месторождения осматривают выходы материала на дневную поверхность для установления его наименования и качества. Если при этом естественное обнажение, старые разработки, шурфы или ямы обвалились, то производят их расчистку.

Качество материала является главным фактором при оценке месторождения. По этой причине прежде всего знакомятся с качеством материала путем его внешнего осмотра и простейших испытаний: для песка определяют крупность зерен, гранулометрический состав и степень загрязненности пылевато-глинистыми частицами; для гравия — гранулометрический и петрографический состав. Для каменных материалов определяют цвет, структуру, минеральный состав, наименование породы, степень ее выветрелости, прочность (по испытанию ударом молотка), степень однородности породы, трещиноватость, колкость и т. п. Одновременно с этим отбирают типичные пробы для лабораторных испытаний.

При обследовании месторождений и карьеров подробно описывают имеющиеся обнажения или вскрытые стенки расчисток, измеряют мощность пород, лежащих над полезной толщей (вскрыша), и мощность полезной толщи. По имеющимся на обследуемом участке обнажениям, расчисткам и другим выработкам, а также по рельефу местности судят о распространении материала и составляют предварительное суждение о его количестве (запасе).

Для характеристики месторождения или карьера важно также знать расстояние его до строительного объекта (дороги, моста и др.), состояние подъездных путей (если они имеются), характер угодья, где располагается карьер (лес, луг, пашня), наилучшее время года для его разработки и пр. Все полученные во время обследования данные заносят в полевой журнал, в нем же делаются зарисовки обнажений или расчисток.

Знакомство с естественными обнажениями и обследование речных долин позволяют судить о том, какие материалы могут быть встречены в данном районе. При благоприятных условиях такие обнажения могут служить местом разработки материалов.

Аллювиальные отложения, представленные обычно песчаными и гравийными материалами, залегают в виде кос, узких береговых лент, полуостровов или островов. Их мощность колеблется от 0,25 до 2 м и более; вскрыша отсутствует (самые молодые отложения) или сравнительно невелика. Гравийные или песчаные древне-аллювиальные отложения обычно приурочены к более высокой террасе. Такие отложения обычно характеризуются значительно большей мощностью. Для большинства аллювиальных отложений характерна малая загрязненность пылевато-глинистыми частицами, что делает их особенно ценными для многих видов работ.

При осмотре оврагов можно обнаружить такие же естественные обнажения, как и по берегам рек; при хорошем качестве вскрытых оврагом горных пород и небольшой вскрыше эти обнажения также могут стать местом разработки материалов.

В областях распространения ледниковых отложений на возвышенных элементах рельефа встречаются залежи валунов, гравия и песка. Гравийно-валунные отложения часто приурочены к конечным моренам отдельных отрогов ледников или к озам и представляют собой холмы или удлиненные валы.

В горной местности на крутых склонах на дневную поверхность иногда выходят наиболее прочные каменные горные породы. В предгорных районах залежи гравия или естественного щебня встречаются в местах современных или прежних выходов горных потоков в прилегающую к горам равнину (пролювиальные отложения).

При поисках строительных материалов можно руководствоваться также следующими внешними признаками: 1) произрастание сосны часто указывает на наличие хорошо дренируемых грунтов — песка, гравия, дресвы или естественного щебня; 2) наличие в поверхностных слоях грунтов гравийных зерен или щебня в заметных количествах указывает на то, что на небольшой глубине возможно наличие залежи гравийного материала или камня; 3) если коренные отложения данной местности представлены скальными породами высокой прочности, то по берегам рек возможно присутствие гравия. Наибольшее количество его может быть обнаружено, когда коренные породы представлены конгломератами.

В результате поисков составляются следующие документы: 1) план-схема трассы с нанесением на нее всех выявленных при поисках месторождений и карьеров. При наличии карты крупного масштаба трасса, выявленные месторождения и карьеры наносятся на карту; 2) ведомость месторождений и карьеров; 3) ведомость характерных анализов и испытаний материалов; 4) пояснительная записка, в которой даются краткая характеристика размещения месторождений и карьеров вдоль трассы и качественная оценка материала, а также излагаются соображения о снабжении проектируемой дороги дорожно-строительными материалами.

§ 2. Детальная разведка

Обследование мелких притрассовых месторождений и карьеров обычно ограничивают предварительной разведкой. При необходимости на разведываемом участке закладывают большее число глубоких шурфов.

Базисные или крупные притрассовые карьеры с запроектированной добычей более 50 000 м³ изучают при детальной разведке. Для уточнения количества материалов на изучаемой территории закладываются дополнительные глубокие и вскрышные выработки. При гнездовом залегании материалов или невыдержанности пластов дополнительные шурфы располагают таким образом, чтобы образовать более густую сетку (через каждые 25—50 м).

Частое расположение шурфов позволяет более правильно установить границы участка с благоприятным соотношением вскрыши и полезной толщи и вместе с тем дает возможность более точно подсчитать запасы материала.

Основными задачами детальной разведки являются: 1) установление границ распространения полезного ископаемого и выявление участков, пригодных для эксплуатации в первую очередь; этот вид работ получил название *оконтуривания* место-

рождения; 2) определение площади контура и подсчет запасов материала в месторождении; 3) изучение качества материалов в месторождении; 4) выяснение условий залегания полезного ископаемого (глубины залегания, мощности вскрыши и полезной толщи, простираания, падения и угла падения пластов, подземных вод и пр.); 5) уточнение условий транспортировки материалов из месторождения; 6) сбор дополнительных геологических и гидрогеологических данных.

Экономическую целесообразность разработки во многом определяет соотношение между мощностью вскрышных пород и мощностью полезного ископаемого.

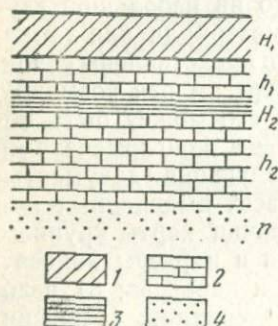


Рис. 40. Схема разреза через месторождение известняков:

1 — суглинистый грунт; 2 — полезная порода; 3 — глинистая прослойка (пустые породы); 4 — песок

Отношение мощности вскрыши H к полезной толще h носит название геологического коэффициента y . При этом имеющиеся среди полезной толщи прослойки «пустой» породы причисляются к вскрышным породам.

Например, для месторождения известняка, показанного на рис. 40,

$$y = (H_1 + H_2)/(h_1 + h_2),$$

где H_1 — мощность вскрыши; H_2 — мощность прослойки пустых пород; $h_1 + h_2$ — мощность полезного ископаемого.

Ценность месторождения тем значительнее, чем меньше величина имеет коэффициент y . При $y = 0$ полезное ископаемое будет залегать на поверхности, разработка такого месторождения экономически наиболее выгодна.

Целесообразность разработки месторождения устанавливается на основе технико-экономического анализа, и во многом она определяется геологическим коэффициентом y . Экономически допустима разработка месторождений, когда отношение H/h находится в пределах 2:1 или 1:1, однако это справедливо в том случае, если полезный слой h залегает на глубине не более 3—5 м от поверхности.

В случае положительного решения вопроса о возможности эффективного укрепления вяжущими материалами грунтов вскрыши («пустой» породы) или некондиционных по своим свойствам отдельных прослоек породы экономическая целесообразность разработки такого месторождения резко возрастает.

Для определения границ распространения полезного ископаемого на выявленном поисками участке закладываются шурфы или буровые скважины. Намечая точки заложения шурфов, учитывают все старые выработки, обнажения и расчистки, имеющиеся на изучаемой территории. При разведке гранитов и других изверженных горных пород ограничиваются изучением имеющихся обнажений и заложением неглубоких (2—5 м) шурфов для определения мощности вскрыши и выветрелой толщи породы (элювия).

При разведке осадочных горных пород закладывают шурфы или скважины на глубину намечаемой эксплуатации месторождения. Число закладываемых шурфов устанавливается в зависимости от сложности геологического строения и рельефа местности, а также от количества материалов, намечаемых к использованию из данного месторождения. Выработки на изучаемом участке располагаются в виде правильной сетки; расстояние между выработками и разведочными линиями чаще всего составляет 50—100 м в зависимости от местных условий.

Подсчет запасов. На план месторождения (масштаб 1 : 2000), составленный при инструментальной топографической съемке, наносят точки заложения шурфов или буровых скважин и отмечают для каждого шурфа мощность вскрыши и полезного слоя. Все выработки, имеющие удовлетворительный геологический коэффициент, считаются положительными и должны попасть в контур подсчета запасов (рис. 41). Выработки с большой вскрышей и малой мощностью полезного слоя или не содержащие полезного материала должны остаться вне контура. Границы наиболее выгодного для эксплуатации залегания полезного ископаемого проводятся по крайним положительным выработкам (скв. 2, 4, 9, 11 на рис. 41). Естественно, что при малом числе шурфов, закладываемых во время предварительной разведки, контур подсчета запасов будет установлен приблизительно.

Площадь контура подсчитывают следующим образом: вся ооконтуренная часть территории делится на несколько правильных геометрических фигур: треугольники, трапеции или прямоугольники. Площадь каждой фигуры (S_1 , S_2 и т. д.) подсчитывается, исходя из масштаба плана; сумма площадей всех выделенных фигур дает площадь контура

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n.$$

Подсчет запасов полезных ископаемых на ооконтуренной территории проводится различными методами. При разведке карьеров дорожно-строительных материалов чаще всего применяют методы среднеарифметический или поперечных сечений. Суть первого метода заключается в том, что по данным всех выработок, входящих в контур подсчета запасов, определяется средняя мощность полезной толщи

$$h_{cp} = (h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n)/n,$$

где n — число выработок.

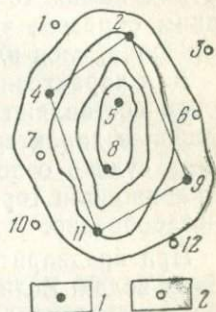


Рис. 41. Контур подсчета запасов:

Скважины: 1 — положительные (вскрыли полезный материал); 2 — отрицательные (полезный материал отсутствует)

Тогда запасы V (в m^3) будут равны произведению площади контура подсчета запасов на среднюю мощность полезной толщи

$$V = Sh_{\text{ср.}}$$

Качество материалов. Для изучения качества материалов из наиболее характерных шурфов отбирают пробы в количестве, достаточном для проведения лабораторных испытаний: 1) для песка 2—3 кг в зависимости от крупности зерен; 2) для гравийных материалов (при наибольшей крупности зерен — 60 мм) 15—20 кг; 3) для камня 15—20 кг и более. Пробы должны быть отобраны таким образом, чтобы они были характерны для данного месторождения, слоя или шурфа и отражали их качество.

Для характеристики условий залегания материала в месторождении составляют один или несколько геологических разрезов по наиболее характерным направлениям. Эти разрезы дают возможность судить о том, как залегают полезная толща и вскрыша: наклонно или горизонтально, в виде выдержанного пласта или гнездообразно.

При предварительной разведке выясняют также вопрос о грунтовых водах. Если на разведываемом участке встречены грунтовые воды, то устанавливают, с какой глубины они появляются и какова интенсивность их поступления. Эти данные необходимы при оценке месторождения или при решении вопросов, связанных с его разработкой.

Если при поисках карьеров и месторождений не были собраны достаточные данные о состоянии транспортных путей, об удаленности месторождения от различных точек трассы и т. п., то все эти данные выясняются при предварительной разведке.

Документация. В итоге проведения предварительной разведки составляют документы, которые входят в состав технического проекта дороги: 1) карту крупного масштаба с нанесенной на ней трассой дороги и обозначением разведанных месторождений и карьеров; 2) ведомость разведочных месторождений и карьеров; 3) паспорт каждого разведанного месторождения или карьера, в который входят: план расположения выработок с нанесенной ситуацией, горизонталями через 1 м и контуром подсчета запасов; таблица основных показателей разведки по отдельным выработкам (мощность вскрыши и полезной толщи, геологический коэффициент, относительные отметки устья шурфов или скважин); геологические разрезы по наиболее характерным направлениям и наиболее характерные геологические колонки; таблица исходных данных для подсчета запасов и запасы по отдельным геометрическим элементам контура и по контуру в целом; главные характеристики, относящиеся к месторождению карьера, условиям разработки и транспортировки; таблица результатов лабораторных испытаний основных проб (все перечисленные материалы помещаются на одном листе); 4) пояснительную записку по обеспечению строящейся автомобильной дороги строительными материалами.

§ 3. Особенности разведки месторождений песка, гравия, камня

Разведка месторождений песка и гравия. При строительстве автомобильных дорог песок широко применяется как строительный материал для устройства дорожных покрытий (в качестве мелко-го заполнителя в асфальтовом или цементном бетоне, гравийных и других смесях), дренажей, подстилающих слоев и земляного полотна, или как материал, подвергаемый укреплению.

В зависимости от назначения песка к нему предъявляются различные требования в отношении гранулометрического состава, фильтрующей способности, содержания органических примесей и других особенностей (ГОСТ 8736—77. Песок для строительных работ).

В связи с тем что проходка шурфов в песках из-за их сыпучести требует трудоемких ручных работ по креплению стенок шурфа и сложности проходки шурфами таких пород при большом их увлажнении, в качестве основных выработок рекомендуется закладывать буровые скважины. Последние на всю глубину проходки закрепляются обсадными трубами.

При разведке месторождений песка применяется буровое оборудование, обеспечивающее проходку скважин диаметром не менее 127/115 мм. Для более полного выявления условий залегания песка в характерных местах в дополнение к буровым скважинам закладывают разведочные шурфы.

При строительстве дорог наиболее часто используют месторождения песка из аллювиальных, ледниковых или эоловых отложений. Среди аллювиальных отложений наибольшее значение имеют русловые месторождения песков, которые обычно отличаются отсутствием вскрышных пород и хорошим качеством.

Расстояния между разведочными линиями при предварительной разведке составляют 50—100 м, а между буровыми скважинами на линиях — 50 м. При детальной разведке эти расстояния сокращаются и составляют на разведочных линиях 50 м и между выработками на линиях 25—50 м. В случае резкого изменения мощности и качества полезного слоя песка расстояние между выработками сокращается до 20 м.

Пески ледниковых отложений наиболее часто образуют месторождения, относящиеся к озовому или камовому типам или к зандровым покровам.

Месторождения озового типа представляют собой длинные узкие возвышенности — гряды с крутыми склонами. Разведочные линии располагают в поперечном направлении по отношению к простиранию гряды. Расстояния между выработками устанавливаются такие же, как и при разведке русловых месторождений.

Месторождения песка камового типа, как правило, содержат материал высокого качества. Пески почти всегда залегают совместно с гравием. Такие месторождения представляют собой ледниковые холмы неправильной округлой формы. При детальной

разведке линии разбиваются через 50 м, а расстояния между выработками на линиях составляют 20—50 м.

Песчаные зандровые покровы характеризуются обширными площадями, и мощность полезного слоя песка в них выдерживается на значительных расстояниях. Поэтому разведке обычно подвергается лишь часть полезной площади, имеющая наименьшую вскрышу. Выработки закладываются по сетке 100×100 м при предварительной разведке и 50×50 м при детальной.

Месторождения песчаных пород дочетвертичного возраста характеризуются большой мощностью вскрышных пород, поэтому основной задачей при разведке является выбор участка с небольшой вскрышей. Пески в таких месторождениях обычно характеризуются однородным хорошим качеством и выдержанной мощностью полезного слоя.

Пески олового происхождения — обычно мелкозернистые и одномерные — распространены на обширных площадях, как правило, не закрепленных растительностью. Разведка таких песков производится в одну стадию по редкой сетке выработок (50×100 или 100×100 м).

Естественные крупнообломочные горные породы, состоящие из окатанных обломков горных пород различной крупности, называют гравийным материалом. После искусственной отгрохотки гравийного материала частицы размером 5—70 мм называют дорожным гравием. Гравийный материал широко применяется в дорожном строительстве благодаря легкости его разработки и возможности применения механических способов добычи. Месторождения гравия в большинстве случаев подразделяются на те же генетические типы, что и месторождения песка, и разведка их производится таким же методом.

Для целей дорожного строительства наиболее важное значение имеют месторождения гравия аллювиального или ледникового происхождения. При предварительной разведке аллювиальных месторождений гравия расстояния между линиями устанавливаются до 100 м, а между выработками на линиях до 50 м. При детальной разведке эти расстояния соответственно сокращаются до 50 и 25 м.

Месторождения гравия озово-камового типа обычно характеризуются относительно небольшими площадями и наличием в толще гравийных отложений пустых или бедных гравием прослоев или линз. Для таких месторождений, учитывая сложность условий их залегания, разведочные линии располагают через 40—50 м. Расстояния между разведочными выработками должны составлять 20—50 м.

Разведка месторождений гравия зандровых покровов производится лишь после того, как поисковыми выработками будут определены участки с наименьшей вскрышей. Предварительная разведка таких месторождений производится по сетке 100×100 м, детальная — по сетке 50×50 м.

Разведка месторождений камня. После переработки каменные горные породы широко применяют при строительстве автомобиль-

ных дорог в качестве материала дорожных одежд, мостов или других сооружений. В зависимости от состава и происхождения породы, формирующие месторождения камня, разделяют на следующие группы: 1) изверженные; 2) известняковые; 3) песчаниковые; 4) сланцевые.

В зависимости от области применения к каменным материалам предъявляются различные требования, регламентируемые специальными ГОСТами и другими техническими нормативными документами (ГОСТ 8267—82. Щебень из естественного камня для строительных работ и др.).

Разведку месторождений камня изверженных пород осуществляют при помощи скважин колонкового бурения, шурфов и расчисток. В состав работ при разведке таких месторождений входит определение мощности: 1) полезного слоя, 2) вскрышных пород и 3) выветрелой зоны каменного массива. Разведочная сетка разбивается в виде квадрата со сторонами 50 м.

При выполнении разведочных работ устанавливают: 1) характер трещиноватости массива; 2) форму отдельностей, на которые распадается массив (плитообразная, столбчатая, матрацевидная и т. п.); 3) петрографическую характеристику полезного слоя и отдельных жил и включений; 4) марку пород по прочности на основании визуальных признаков.

При разведке месторождений камня известняковых пород учитывают, что они, как правило, характеризуются большой пестротой состава, изменением прочности и других свойств, частым наличием пустых прослоев различного литологического состава. Поэтому такие месторождения подвергают детальной разведке, минуя стадию предварительной разведки. Основными выработками являются скважины колонкового бурения, шурфы и расчистки. В зависимости от сложности геологического строения расстояния между разведочными линиями изменяются от 50 до 100 м.

В процессе полевых работ определяют общую мощность полезной толщи, мощность отдельных пластов, состав и мощность прослоев пустых пород. При этом также устанавливают сложение породы (плотное, землистое и т. п.), ее цвет в свежем и выветрелом состоянии, наличие вредных примесей и включений и другие особенности.

При разведке месторождений песчаников помимо мощности полезного слоя и его выветрелости устанавливают: 1) состав зерен и их величину; 2) состав цемента (кремнистый, известковый, железистый и др.).

При разведке месторождений конгломератов и брекчий определяют прочность цемента и гальки (цемент может быть прочнее включений), состав цемента, петрографический состав, форму и величину гальки или щебня.

При разведке месторождений любого типа все материалы, полученные в полевой период, подвергают камеральной обработке и составляют геологический отчет, включающий в себя целый ряд планов, разрезов и пояснительную записку.

Основными документами являются следующие.

1. Топографический план местности с нанесением всех разведочных выработок с изолиниями через 1 м.

2. Геологические разрезы, расположенные перпендикулярно друг к другу по установленной сетке. На основе этих данных утверждается порядок разработки месторождения. Например, наличие по данным разреза между двумя пластами полезного ископаемого слоя пустых пород указывает на необходимость разрабатывать отдельно каждый пласт полезного ископаемого.

3. Планы гипсометрии кровли и подошвы полезного ископаемого, на которых изолиниями соединяют точки кровли или подошвы полезного ископаемого, расположенные на одинаковых по высоте отметках. План гипсометрии кровли представляет собой воображаемый план поверхности дорожно-строительного материала после снятия всех пустых пород. План гипсометрии подошвы представляет собой поверхность, которая образуется после выработки слоя полезного ископаемого. Планы гипсометрии позволяют решать вопрос о выборе направления откатки с наименьшими уклонами.

4. Планы изолиний мощности наносных пород и полезного слоя камня или гравия.

В геологическом отчете приводятся данные, характеризующие запасы разведанного дорожно-строительного материала, и указывается метод, по которому производится подсчет запасов.

Категории запасов. По степени разведанности и изученности запасы полезных ископаемых делятся на три категории.

К а т е г о р и я *A* — детально разведанные запасы, наиболее точно подсчитанные и опробованные в широком масштабе. Эта категория служит для обоснования технических проектов разработки крупных базисных карьеров и соответствующих капиталовложений, а также для производственного планирования.

К а т е г о р и я *B* — запасы, достаточно точно количественно установленные предварительной разведкой, при которой форма залегания полезного ископаемого, качественные показатели и технология обработки полезного ископаемого выявлены недостаточно. Эта категория запасов, утвержденная Территориальной комиссией по запасам полезных ископаемых (ТКЗ), при наличии одновременно запасов категории *A* служит обоснованием для составления проекта разработки карьеров и выделения капиталовложений на разработку базисных карьеров. Разведанные запасы категории *B* могут служить для проектирования притрассовых карьеров.

К а т е г о р и я *C*₁ — предполагаемые запасы, устанавливаемые на основе обследования месторождения или карьера, при котором пользуются отдельными естественными или искусственными обнажениями. Контуры запасов этой категории выявляют по одиночным разведочным выработкам и по общим геологическим и геофизическим данным. Категория предназначается для обоснования перспективных планов разработки карьеров и для составления плана детальных геологоразведочных работ.

При очень сложных геологических условиях запасы категории C_1 могут быть положены в основу разработки проекта карьера и выделения капиталовложений на разработку месторождения.

Категория C_2 — запасы, определяемые по общим геологическим данным, по аналогии с известными месторождениями в данной конкретной обстановке, служат для проектирования разведочных работ.

Отобранные из различных шурфов пробы, относящиеся к одному пласту, сравниваются, и, если они окажутся однородными, то из них для полных лабораторных исследований оставляют только две-три типичные пробы. В противном случае оставляют все отобранные пробы или большую часть их. Образцы каменных пород берут в виде двух кусков общей массой 30—40 кг. Извлекать пробу камня из массива лучше всего при помощи лома, кувалды и клиньев.

Опробование гравийных и песчаных месторождений ведется способом борозды. К основанию обнажения, шурфа или расчистки сыпают гравийный материал или песок, полученный из борозды, проведённой вертикально через толщу разреза по стенке выработки. Глубина борозды 10—20 см, ширина 20—40 см. Собранный на фанеру или брезент гравийный материал тщательно перемешивают и разравнивают слоем 10—20 см. Отбор пробы из этой смеси осуществляется по способу квартования. Весь материал делят на четыре части; две противоположные части удаляют, а оставшиеся снова смешивают. Так повторяют до тех пор, пока количество гравийного материала в двух оставшихся четвертях не приблизится к тому, которое необходимо для полных лабораторных испытаний.

Отобранную пробу материала помещают в ящик или холщовый мешок, на котором химическим карандашом надписывают номер пробы. В ведомости проб приводят полевую характеристику материала и указывают место отбора проб.

Среднюю пробу песка отбирают общей массой не менее 3—5 кг. Пробы упаковывают так же, как и пробы гравийных материалов. Отобранные пробы камня, гравия, песка и других материалов упаковывают в ящики массой не более 30—40 кг и отправляют в лабораторию для испытаний.

После завершения работ по каждому месторождению или карьере составляют такие же документы, как и при предварительной разведке, но отличающиеся большей точностью. Кроме того, по каждому разведанному месторождению составляют пояснительную записку.

§ 4. Особенности разведки местных материалов, подвергаемых укреплению

Использование разнообразных по составу грунтов, а также отходов промышленности и малопрочных каменных материалов, являющихся местными (а поэтому дешевыми), для строительства

автомобильных дорог имеет важное народнохозяйственное значение. При правильном использовании местных материалов отпадает надобность в доставке на трассу огромных объемов привозных и поэтому дорогостоящих щебеночных, гравийных и песчаных материалов.

Наибольший экономический эффект (закрывающийся в повышении производительности труда, значительном уменьшении транспортных перевозок материалов, экономии энергетических ресурсов и др.), достигается лишь в том случае, если местные материалы будут применяться для устройства дорожных оснований и облегченных покрытий в укрепленном виде после придания им требуемой монолитности, прочности и морозоустойчивости.

В связи с указанным выше при проведении полевых инженеро-геологических обследований, наряду с поисками и разведкой месторождений камня, гравия и песка, обязательно выявляются и обследуются места залегания местных материалов, которые в укрепленном виде могут быть использованы в конструктивных слоях дорожных одежд, взамен прочных традиционных каменных материалов.

При этом, помимо установления запасов тех или иных местных материалов, выявления условий их разработки и доставки к месту проведения работ, производится также детальное изучение (в последующий период в лабораторных условиях) возможности их укрепления, выбор вяжущих веществ и подбор наиболее рациональных составов смесей.

Как было указано выше, местными эффективно укрепленными материалами являются не только грунты, но и некондиционные малопрочные каменные материалы и различного состава обломочные отходы промышленности.

Важной особенностью отходов промышленности (например, зол уноса или золо-шлаковых смесей, получаемых при сжигании каменных или бурых углей в пылевидном состоянии, гранулированных доменных или других шлаков) является то, что во многих случаях они обладают вяжущими свойствами, проявляющимися в большей или меньшей степени. При этом вяжущие свойства некоторых промышленных отходов можно активизировать путем использования других вяжущих веществ, также являющихся отходами промышленности.

В результате исследований и производственного опыта установлено, что при правильном выборе и сочетании добавок вяжущих веществ укрепленные местные материалы в конструктивном слое дорожной одежды являются полноценным заменителем, обеспечивающим требуемую прочность дорожной одежды.

Так, например, при укреплении золо-шлаковых смесей добавками, представляющими собой отходы промышленности и содержащими гидрат окиси кальция, в результате затвердения смеси получается прочное, водо- и морозоустойчивое основание.

При укреплении низкопрочного известняка-ракушечника в дробленном виде небольшими добавками извести или цемента

(4—5 % по массе) получается плотное и прочное основание, по эксплуатационным показателям превышающее прочность основания из гранитного щебня. Положительные результаты дает укрепление дресвы гранита добавками 3—5 % извести или цемента.

При поисках и разведке местных материалов, которые планируется применять в укрепленном виде, составляется документация, аналогичная указанной в § 1 и 2 этой главы. Однако при этом должны быть расширены лабораторные испытания, проводимые для подбора составов смесей и испытаний образцов, а также установлена перспектива получения различных отходов промышленности, особенно обладающих вяжущими свойствами, в том числе и после их активизации.

§ 5. Краткие сведения о методах укрепления грунтов и подбора состава смесей

Первые систематические и разносторонние исследования, направленные на коренное изменение природных свойств грунтов и использование их в дорожных покрытиях и основаниях, начали проводить в 1925 г. М. М. Филатов и В. В. Охотин. В последующие годы были усовершенствованы и развиты различные методы укрепления грунтов и других местных материалов добавками минеральных (цемент, известь) и органических (битумы, дегти) вяжущих материалов.

В настоящее время в центральных, южных и северных областях европейской части СССР, на Украине, в Казахстане и Западной Сибири, в Белоруссии, Узбекистане и в других республиках на многих тысячах километров дорог в качестве дорожного покрытия или основания применен местный грунт, укрепленный цементом, битумом, дегтем или известью.

Под укреплением грунтов и других местных материалов понимают всю совокупность технологических и строительных мероприятий, обеспечивающих (в результате воздействия добавок вяжущих и других веществ) высокую прочность, монолитность и длительную устойчивость грунтов не только в сухом, но и в водонасыщенном состоянии.

Было установлено, что укрепление грунтов добавками вяжущих материалов и других веществ может дать положительный результат лишь при обязательном выполнении следующих требований: 1) размельчении комков грунта до состояния мучнистой массы (в случае обработки супесей, суглинков или глин); 2) равномерном распределении вяжущего материала в грунте с точным соблюдением установленной добавки цемента, битума или других веществ; 3) равномерном увлажнении грунта до необходимой (оптимальной) влажности и уплотнении обработанного грунта до наибольшей плотности.

При введении в грунт вяжущих материалов (цемента, битума, извести и др.) происходят сложные физико-химические и химические процессы взаимодействия грунта с этими материалами,

в результате чего происходит коренное изменение и улучшение его физико-механических свойств. Однако максимального эффекта от такой обработки можно ожидать лишь при условии тщательного и равномерного распределения нужного количества вяжущего материала в грунте с последующим максимальным уплотнением полученной массы при оптимальной влажности.

В настоящее время разработано много методов укрепления грунтов, получивших широкое распространение в производстве. Наиболее широко применяемые методы рассмотрены ниже.

Технология проведения работ, требования к укрепленным грунтам и вяжущим материалам, а также методика подбора составов смесей и испытаний образцов изложены в «Инструкции по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов» (СН 25—74), а также в других нормативных документах.

Многочисленные полевые наблюдения за состоянием грунтовых дорог, проведенные в СССР и за границей, показали, что грунт при известных соотношениях гравийных и песчаных, пылеватых и глинистых частиц приобретает достаточную устойчивость. Такой грунт принято называть оптимальным по гранулометрическому составу и другим, положительным в дорожном отношении, свойствам.

В грунтах оптимального зернового состава гравийные и песчаные частицы служат как бы скелетом, воспринимающим главную часть внешних воздействий в период сильного увлажнения грунта. Пылеватые частицы в составе оптимального грунта служат заполняющим материалом, так как они вследствие небольших размеров размещаются в порах грунта, образованных более крупными частицами. Пылеватые частицы в этом случае способствуют увеличению внутреннего трения грунта. Роль глинистых и коллоидных частиц более существенна: обладая большой цементирующей способностью, они после уплотнения смеси соединяют ее составные части в сравнительно плотную связную и монолитную массу.

При определении соотношения разных по крупности частиц в составе оптимального грунта большое значение имеют климатические условия местности и интенсивность движения по дороге в течение года, т. е. происходит оно в основном летом (сухое время) или весной и осенью (дождливое время).

Значительное влияние при этом оказывает также химический и минеральный состав и степень дисперсности глинисто-коллоидальных фракций. Вяжущие свойства этих фракций в зависимости от их физико-химического состояния могут быть весьма различными.

При любых методах укрепления грунты оптимального состава наиболее пригодны и желательны. Однако это не исключает возможности и технико-экономической целесообразности укрепления грунтов или других местных материалов не оптимального гранулометрического состава.

Максимальное уплотнение грунтов с оптимальным зерновым составом и оптимальной влажностью смеси является приемом, существенным образом повышающим прочность и устойчивость грунтов, как укрепленных, так и не укрепленных вяжущими материалами.

Укрепление минеральными вяжущими материалами. Как показывает многолетний опыт дорожного и аэродромного строительства, для укрепления грунтов с большим успехом могут применяться минеральные вяжущие вещества: цементы, известь, активные тонкодисперсные золы уноса, молотые гранулированные шлаки. Особенно большой эффект дает укрепление грунта портландцементом.

В настоящее время установлено благоприятное и длительное воздействие цемента, извести и других веществ на физико-механические свойства грунтов самого разнообразного генезиса и granulометрического состава.

Портландцемент — наиболее широко распространенный вяжущий строительный материал. В связи с постоянным ростом выпуска цемента в СССР имеются широкие возможности для применения его в дорожном строительстве, в том числе и для укрепления грунтов.

Основную часть цемента (70—75 %) составляют силикаты кальция, которые при смачивании водой превращаются в новые соединения, обладающие большой цементирующей способностью (гидросиликаты и гидроалюминаты кальция). Под действием этих соединений песчаные и пылеватые частицы, а также мелкие агрегаты грунта, содержащие глинистые частицы, скрепляются в монолитную, прочную и водоустойчивую массу. При этом в результате сложных химических и физико-химических процессов наиболее мелкие глинистые частицы грунта под действием цемента утрачивают отрицательные свойства: способность к набуханию и размоканию в воде, пластичность и липкость.

В зависимости от свойств, активности (марки), а также дозировки цемента различные укрепленные им грунты дают разные результаты. Наилучшие результаты получают при укреплении грунтов оптимального зернового состава добавками дорожного портландцемента с активностью 30—40 МПа и более. Чем больше в грунте содержится глинистых частиц, тем больше требуется цемента для закрепления.

Физико-химическое взаимодействие грунта и цемента. Высокая вяжущая способность цемента объясняется его химическим изменением при взаимодействии с водой (процесс гидратации) и последующим выделением прочных нерастворимых соединений — гидросиликатов и гидроалюминатов, образующих твердые связи между частицами цемента и грунта. При выделении гидросиликатов и гидроалюминатов вода химически связывается, входя в состав этих соединений (процесс гидратации).

При укреплении грунта цементом процессы гидратации, а также другие химические реакции будут ускоряться или, наоборот,

замедляться в зависимости от химического и минерального состава цемента, природы грунта и его физико-химического состояния в момент обработки. Так, например, при укреплении цемента дерново-подзолистых почв процессы гидролиза и твердения цемента под действием кислой среды и наличия подвижных гумусовых веществ будут замедляться, в результате чего прочность цементогрунта будет весьма незначительна.

При укреплении карбонатных грунтов, например карбонатных лёссов, благодаря наличию в растворе ионов кальция и слабой щелочной среды процессы гидратации и твердения цемента происходят более интенсивно. В этом случае прочность цементогрунта будет наиболее высокой.

Значительное содержание (более 3%) в грунтах легкорастворимых солей (сернокислого натрия и магния) вредно сказывается на прочности цементогрунта. Вредное действие, например, сернокислых солей можно ослабить добавкой извести. В кислые грунты для устранения их кислотности вносят известь, NaOH или Na_2CO_3 .

Физико-механические свойства грунтов, укрепленных минеральными вяжущими (цементом и др.), резко отличаются от первоначальных свойств необработанных грунтов и должны характеризоваться показателями, приведенными в табл. 12.

Таблица 12
Физико-механические свойства укрепленных грунтов

Показатели физико-механических свойств	Классы прочности		
	I	II	III
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, МПа	6—4	4—2	2—1
Предел прочности на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов, МПа	>1	>0,6	>0,2
Коэффициент морозостойкости	>0,75	>0,70	>0,65
Влажность образца после испытания на замораживание e—оттаивание, %	<2	<4	<4

Примечание. 1. Показатели физико-механических свойств при укреплении грунтов портландцементом или шлакопортландцементом даны для образцов, твердевших 28 сут; при укреплении грунтов золой уноса, золой уноса с добавками цемента или извести, известково-золистым или известково-шлаковым цементом или известью — для образцов, твердевших 90 сут.

2. При подборе составов смесей грунтов с вяжущими материалами для устройства в дорожно-климатической зоне оснований и покрытий дорог четвертой и пятой категорий аэродромов класса Д и Е, а также аэродромов сельскохозяйственной авиации допускается уменьшать на 25 % значения показателей прочности укрепленного грунта.

3. Коэффициент морозостойкости представляет собой отношение предела прочности при сжатии после замораживания — оттаивания к пределу прочности при сжатии водонасыщенных образцов.

4. Значения влажности даны сверх оптимальной влажности при уплотнении.

Таким образом, если необработанные грунты при испытании их на размокание расплываются в воде через 10—30 мин, то те же грунты при укреплении их цементом не только приобретают водостойчивость, но и обладают высокой механической прочно-

стью после водонасыщения или же после многократного замораживания и оттаивания.

Комплексное гидрофобное укрепление грунта. Несмотря на высокую механическую прочность и водоустойчивость, грунты, укрепленные цементом, обладают большой влагоемкостью и остаточной пористостью, что является отрицательным свойством этого материала.

При комплексном укреплении грунта цементом и битумной эмульсией протекают два процесса, дополняющие друг друга, что и обеспечивает приобретение обработанным грунтом недостающих ему свойств: водонепроницаемости и несмачиваемости, т. е. гидрофобности, а также уменьшения хрупкости и повышения деформативности по сравнению с цементогрунтом. При этом следует отметить, что расход цемента намного снижается, а морозоустойчивость гидрофобного цементогрунта благодаря наличию битума резко увеличивается.

Для твердения и гидратации цемента необходимо известное содержание влаги в обрабатываемом грунте. Для распада битумной эмульсии и проявления вяжущих свойств битума, придающего грунту гидрофобные свойства, наоборот, необходимо удаление воды.

Таким образом, цемент, отбирая воду, способствует распаду эмульсии и создает благоприятные условия для проявления вяжущих свойств битума. Поглотив воду, находившуюся в составе битумной эмульсии, частицы цемента получают способность гидратации и твердения в оптимальных условиях. Этим обеспечиваются условия для максимального проявления вяжущих свойств как битума, так и цемента. При этом появляющийся при гидролизе портландцемента гидрат окиси кальция способствует повышению адгезии (прилипания) битума на поверхности частиц грунта.

Как показывает производственный опыт, накопленный за последние годы, для получения хороших результатов при устройстве цементно-грунтовых покрытий или оснований требуется соблюдение следующих основных правил (от выполнения которых зависят прочность, погодоустойчивость и сопротивляемость износу такого рода покрытий и оснований): 1) введения в грунт достаточного количества цемента, обеспечивающего твердение смеси до заданной прочности, с равномерным распределением цемента в массе обрабатываемого грунта; 2) наличия надлежащего (оптимального) количества воды в обработанном грунте в период уплотнения и твердения цементно-грунтовой смеси; 3) уплотнения цементогрунта до установленной максимальной плотности при поддержании оптимальной влажности смеси в период уплотнения.

Грунт обрабатывают цементом в следующем порядке. Вначале грунт размельчают в порошкообразную массу специальными машинами, называемыми дорожными фрезами, за несколько (один-два) проходов. Затем специальными машинами — дозаторами — распределяют и дозируют цемент. После этого цемент двумя-тремя проходами фрезы перемешивают с грунтом, полученную смесь

увлажняют поливочными машинами до оптимальной влажности (установленной в лаборатории). Увлажнение цементно-грунтовой смеси необходимо для затворения и последующего твердения цемента. Только оптимально увлажненная смесь может быть уплотнена до наибольшей плотности. После увлажнения и перемешивания до однородной массы готовую цементно-грунтовую смесь планируют, а затем уплотняют катками на пневматических шинах.

Более совершенным способом является обработка грунта цементом с помощью однопроходных грунтосмесительных машин, выполняющих перечисленные технологические операции за один проход (за исключением уплотнения), или приготовление смеси в карьерных смесительных установках.

В зависимости от свойств грунта дозировка цемента (например, марки «400») в среднем составляет (в процентах от общей массы смеси): 1) для супесчаных грунтов 8—10; 2) для пылеватых легких суглинистых грунтов 10—12; 3) для тяжелых суглинков и глин 12—15. При средней толщине основания 20 см и ширине покрытия 7 м на 1 км дороги расходуется 250—300 т цемента.

Укрепление грунтов известью. Наряду с портландцементами для укрепления грунта может применяться известь, вносимая в грунт как в гашеном (CaOH_2), так и в негашеном молотом виде (CaO).

Укрепление грунтов известью имеет много общего с обработкой их цементом. Однако свойства извести вносят известные особенности как в свойства известково-грунтовых смесей, так и в порядок их приготовления и укладки в покрытие или основание.

Известь является воздушным вяжущим материалом. Однако при обработке глинистых грунтов она вступает в химическое и физико-химическое взаимодействие с глинистыми частицами грунта и приобретает свойства гидравлического вяжущего материала. Поэтому укреплению известью подвергают преимущественно суглинки и глины.

Известь, так же как и цемент, делает глинистые грунты водостойчивыми и повышает их механическую прочность во влажном состоянии, однако, степень прочности грунта, укрепленного известью, ниже, чем при добавке в грунт цемента (см. табл. 12).

При укреплении известью глинистый грунт тщательно размельчают и увлажняют. Полученную смесь максимально уплотняют. Процесс затвердевания извести начинается с испарения воды и кристаллизации гидрата окиси кальция. С течением времени часть гидрата окиси кальция подвергается действию углекислоты воздуха и превращается в углекислый кальций (происходит процесс карбонатизации).

Другая часть гидрата окиси кальция сразу начинает активно взаимодействовать с кремнеземистыми и алюмосиликатными соединениями обрабатываемого грунта, в результате чего формируются новые цементирующие вещества, делающие грунт более

прочным. Эти процессы продолжают и в дальнейшем, вследствие чего прочность закрепляемого грунта возрастает.

Благодаря большой удельной поверхности глинистых и суглинистых грунтов при их известковании, как и при цементации, кроме чисто химических реакций происходят физико-химические явления, связанные с обменом поглощенных катионов. В отличие от обработки грунтов цементом с помощью извести можно успешно укреплять грунты, имеющие кислую среду.

При обработке известью грунт размельчают, перемешивают, увлажняют и уплотняют теми же механизмами, что и в случае применения цемента. При укреплении супесей, суглинков и глин известью или цементом в дальнейшем формируется кристаллизационная структура, характеризующаяся пронизывающим весь объем грунта сетчатым известково- или цементно-грунтовым каркасом. При обработке грунта негашеной известью оптимальная влажность смеси бывает на 4—5 % выше оптимальной влажности грунта.

Для улучшения условий твердения и ускорения его при обработке грунта известью добавляют небольшое количество хлористого кальция, сернокислого натрия, жидкого стекла или других активных веществ.

При укреплении почв (например, черноземов или подзолистых) портландцементом известь часто применяется в качестве активной добавки (2—3 %), повышающей прочность цементогрунта.

Известью можно укреплять песчаные и легкие супесчаные грунты, но при обязательном внесении в них определенного количества суглинка, глины или золы уноса (15—25 %), получаемой при сжигании торфа, каменного или бурого угля на тепловых электростанциях.

Активные тонкодисперсные золы уноса или тонко молотые доменные и другие шлаки также можно применять для укрепления грунтов в качестве самостоятельного медленно твердеющего вяжущего вещества или активной добавки в смешанном вяжущем материале в сочетании с известью или цементом. Глины и суглинки в IV—V дорожно-климатических зонах могут успешно укрепляться известково-шлаковым цементом.

Укрепление органическими вяжущими материалами. Укрепление грунтов вязким или жидким битумом получило широкое распространение в Советском Союзе, особенно в IV—V дорожно-климатических зонах.

Нефтяные битумы в зависимости от химического состава обладают различной вязкостью, температурой размягчения, текучестью (растяжимостью) и другими свойствами. Их разделяют на твердые (вязкие) и жидкие. Для укрепления грунтов применяют: 1) вязкие битумы в виде битумных эмульсий или после их разжижения лигроином или бензином; 2) жидкие медленно- или среднегустеющие битумы разных марок, отличающиеся по вязкости и химическому составу; 3) жидкие каменноугольные дегти.

М. М. Филатов установил, что взаимодействие грунта с вяжущим органическим материалом в основном сводится к трем процессам: 1) адсорбции (поглощению) некоторых частей вяжущего материала поверхностью тонкодисперсных частиц; 2) склеиванию отдельных частиц и агрегатов грунта вяжущим материалом; 3) механическому заполнению грунтовых пор вяжущим материалом.

Работами М. М. Филатова, А. К. Бируля, Л. Н. Ястребовой и других установлено, что грунты, обработанные битумными (или дегтевыми) веществами, имеют агрегатно-ячеистое строение, образующееся вследствие неравномерного распределения вяжущих веществ в массе грунта, а также наличия замкнутых микропор, наполненных воздухом.

Физико-механические свойства укрепленных грунтов в значительной мере определяются их гранулометрическим составом. Однако при этом весьма существенную роль играют также генетический тип грунта и физико-химическое состояние его глинисто-коллоидных фракций. Физико-механические свойства грунтов, укрепленных битумными материалами, должны отвечать требованиям, указанным в СН 25—74.

Многолетние наблюдения над покрытиями из грунтов, обработанных жидкими битумами, показали, что лучшие результаты получаются при укреплении супесчаных и суглинистых грунтов. Обработка засоленных грунтов (солонцы и солончаки) в большинстве случаев дает отрицательный результат. В таких грунтах, особенно содержащих соду, битум может вымываться из обработанного слоя и проникать в более глубокие слои.

Для повышения прочности, водо- и теплоустойчивости применяют комплексное укрепление грунтов: 1) жидким битумом и известью; 2) битумной эмульсией и цементом или известью; 3) добавками поверхностно-активных веществ.

§ 6. Охрана и защита окружающей среды при поиске и разведке дорожно-строительных материалов

При проектировании карьеров по добыче дорожно-строительных материалов необходимо руководствоваться общими положениями, изложенными в гл. XV, § 4.

Разработка крупных месторождений камня, гравия и песка требует проведения мероприятий, обеспечивающих не только охрану окружающей среды, но и безопасность работы в таких карьерах.

Особое внимание надо уделять сохранению гидрогеологического режима местности, рациональному использованию и размещению вскрышных пород, рекультивации земель после выработки запасов нерудных ископаемых.

В эффективной охране и защите окружающей среды важное значение имеет максимальное и правильное использование раз-

личных отходов и побочных продуктов промышленности в качестве дорожно-строительных материалов для устройства дорожных одежд и своеобразных искусственных грунтов для возведения земляного полотна.

При широком использовании различных отходов промышленности в этих целях решаются две важные задачи, имеющие народнохозяйственное значение: 1) полностью или частично высвобождаются площади земель, занятых для складирования отходов, при этом исключается возможность загрязнения грунтовых вод вредными водорастворимыми веществами, содержащимися в таких отходах, а также устраняется пылеобразование в сухие периоды года; 2) в несколько раз сокращаются объемы перевозок дорогостоящих каменных материалов в случае, если дорожное строительство осуществляется традиционными методами. При этом достигается значительная экономия денежных и других материальных средств.

При использовании промышленных отходов обязательно надо иметь в виду, что в некоторых вязкожидких или жидких отходах могут содержаться примеси вредных веществ (фенола, пиридина, формальдегида, сернистого газа и др.). В таких случаях необходимо провести более подробные обследования, установить количественное содержание и качественный состав вредных примесей и предусмотреть мероприятия, полностью или частично исключающие влияние вредных веществ на окружающую среду.

В этих случаях необходимо предусмотреть точное соблюдение правил по технике безопасности, которые изложены в специальных инструкциях и руководствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьев В. П., Коробкин В. И.* Инженерная геология. М., Высшая школа, 1973.
2. *Безрук В. М.* Укрепление грунтов в дорожном и аэродромном строительстве. М., Транспорт, 1971.
3. *Бирюков В. И., Кульчихин С. Н., Трофимов Н. Н.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1973.
4. *Бирюков Н. С., Казарновский В. Д., Мотылев Ю. Л.* Методическое пособие по определению физико-механических свойств грунтов. М., Недра, 1975.
5. *Жуков М. М., Славин В. И., Дунаев Н. Н.* Основы геологии. М., Недра, 1971.
6. *Инструкция по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов.* СН 25—74. М., Стройиздат, 1975.
7. *Панюков П. Н.* Инженерная геология. М., Недра, 1978.
8. *Попова З. А.* Лабораторные и практические работы по испытанию грунтов для дорожного строительства. М., Транспорт, 1979.
9. *Руководство по сооружению земляного полотна автомобильных дорог/* Под ред. И. Е. Евгеньева. М., Транспорт, 1982.
10. *Сергеев Е. М.* Грунтоведение. М., Изд-во МГУ, 1973.
11. *Чаповский Е. Г.* Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М., Недра, 1975.

Время, необходимое для взятия пробы в зависимости от температуры суспензии

Эффективный диаметр частиц, мм	Плотность частиц грунта, т/см ³	Глубина отбора проб, см	Время, необходимое для отбора пробы при температуре суспензии				
			15 °С	17,5 °С	20 °С	22,5 °С	25 °С
> 0,05 > 0,01 > 0,005 > 0,001	2,5	25	2 мин 19 с	2 мин 11 с	2 мин 3 с	1 мин 56 с	1 мин 49 с
		10	23 мин 12 с	21 мин 46 с	20 мин 31 с	19 мин 19 с	18 мин 15 с
		10	1 ч 32 мин 48 с	1 ч 27 мин 05 с	1 ч 22 мин 1 с	1 ч 17 мин 14 с	1 ч 12 мин 58 с
		7	27 ч 4 мин	25 ч 26 мин	23 ч 56 мин 43 с	22 ч 32 мин	21 ч 17 мин 17 с
> 0,05 > 0,01 > 0,005 > 0,001	2,55	25	2 мин 15 с	2 мин 7 с	1 мин 59 с	1 мин 51 с	1 мин 46 с
		10	22 мин 27 с	21 мин 4 с	19 мин 51 с	18 мин 41 с	17 мин 39 с
		10	1 ч 29 мин 48 с	1 ч 24 мин 16 с	1 ч 19 мин 24 с	1 ч 14 мин 44 с	1 ч 10 мин 37 с
		7	26 ч 12 мин	24 ч 37 мин	23 ч 9 мин 23 с	21 ч 48 мин 13 с	20 ч 36 мин
> 0,05 > 0,01 > 0,005 > 0,001	2,6	25	2 мин 10 с	2 мин 2 с	1 мин 55 с	1 мин 49 с	1 мин 43 с
		10	21 мин 45 с	20 мин 25 с	19 мин 14 с	18 мин 6 с	17 мин 6 с
		10	1 ч 26 мин 59 с	1 ч 21 мин 37 с	1 ч 16 мин 55 с	1 ч 12 мин 24 с	1 ч 8 мин 25 с
		7	25 ч 22 мин 28 с	23 ч 49 мин	22 ч 26 мин	21 ч 7 мин	19 ч 57 мин 26 с
> 0,05 > 0,01 > 0,005 > 0,001	2,65	25	2 мин 7 с	1 мин 59 с	1 мин 52 с	1 мин 45 с	1 мин 40 с
		10	21 мин 6 с	19 мин 48 с	18 мин 39 с	17 мин 33 с	16 мин 35 с
		10	1 ч 24 мин	1 ч 19 мин	1 ч 14 мин	1 ч 10 мин	1 ч 6 мин
		7	24 ч 36 мин 25 с	23 ч 5 мин	21 ч 45 мин	20 ч 29 мин	19 ч 21 мин
> 0,05 > 0,01 > 0,005 > 0,001	2,7	25	2 мин 3 с	1 мин 55 с	1 мин 49 с	1 мин 42 с	1 мин 37 с
		10	20 мин 28 с	19 мин 13 с	18 мин 6 с	17 мин 2 с	16 мин 6 с
		10	1 ч 21 мин 54 с	1 ч 16 мин 50 с	1 ч 12 мин 24 с	1 ч 8 мин 10 с	1 ч 4 мин 24 с
		7	23 ч 53 мин	22 ч 25 мин	21 ч 7 мин	19 ч 52 мин 47 с	18 ч 49 мин

Определение гранулометрического состава грунтов в полевых условиях

Наименование грунта по гранулометрическому составу	Ощущение при растирании в руке	Вид в лупу	Состояние в сухом виде	Состояние во влажном виде	Состояние при скатывании в сыром виде	Дорожно-строительные свойства
Глина пылеватая	В сыром состоянии песчаных частиц не чувствуется; в сухом состоянии комочки частиц раздавливаются с трудом	Песчинки не видно	Очень тверда в кусках	Большая пластичность и липкость	Дает длинные и тонкие шнуры диаметром менее 1 мм	Очень трудные в работе; пластичны; практически водонепроницаемы
Суглинок	Чувствуются песчаные частицы; отдельные комочки раздавливаются легко	Присутствуют песчинки на фоне тонкого грунта	Комья и куски менее тверды; при ударе молотком рассыпаются	Пластичность и липкость значительны, но меньше, чем в предыдущей группе	Шнур более толстый и короткий, чем в предыдущем грунте (1—3 мм)	Разрабатываются легче глинистых грунтов; обладают значительным капиллярным поднятием; могут применяться как добавки к песчаным грунтам при устройстве грунтовых дорог
Суглинок пылеватый	Песок почти не чувствуется; комочки раздавливаются сравнительно легко	Песка очень мало; видны тонкие пылеватые частицы	То же	Пластичность и липкость значительны	Дает шнуры диаметром 1—2 мм	Свойства, как и в предыдущей группе; грунты пучинистые

Наименование грунта по грануло- метрическому составу	Ощущение при растирании в руке	Вид в лупу	Состояние в сухом виде	Состояние во влажном виде	Состояние при скатывании в сыром виде	Дорожно-строительные свойства
Тяжелая пылеватая супесь	Производит впе- чатление сухой муки	Песка очень мало; пылева- тых частиц много	Комья очень непрочные и легко рассыпа- ются	Легко пере- ходит в пы- линное, зыбкое состояние	Шнур почти не удастся ска- тать	Легко поддаются раз- работке; в сухом состоя- нии сильно пылят, во влажном быстро раскиса- ют; водопроницаемы и обладают значительной капиллярностью; типич- ные пучинистые грунты
Супесь	Песчаные части- цы преобладают; комочки раздавли- ваются без труда	Песчаные части- цы преоблада- ют над гли- нистыми и пы- леватыми	Комья легко рассыпаются от давления руки	Имеет неболь- шую липкость и пластичность	То же	Очень легко поддаются разработке; хорошо во- допроницаемы, быстро просыхают и обладают малой капиллярностью; удовлетворительные до- рожные свойства
Песок	Глинистых частиц не чувствуется; рыхлая несце- ментированная масса	Видны только песчаные части- цы	Цементация отсутствует; сы- пучий грунт	Пластичность и липкость от- сутствуют	Шнур не ска- тывается	Легко поддаются раз- работке; хорошо водопро- ницаемы и почти лишены капиллярных свойств; не пучинисты; могут быть использованы как добав- ки к суглинистым и гли- нистым грунтам и как дренирующий материал при устройстве дорожных покрытий

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Аллювий 55, 60, 84
 Ангидрит 16, 25, 26, 33, 36, 94
 Артезианские воды 66, 68
- Базальт 14, 15, 19, 20, 23, 24, 46, 191
 Базис эрозии 50
 Барханы 62
 Биотит 15, 23
 Битум 28
 Брекчии 28
- Верховодка 65
 Водно-ледниковые отложения 58
 Водосборный бассейн 52
 Высота капиллярного поднятия 135
- Гипс 12, 13, 16, 18, 25, 26, 32, 33
 Глинистые минералы 93, 96, 97
 Глины 15, 64, 103, 105, 133, 136, 164, 195
 Горный компас 43
 Граниты 14, 15, 19—22, 46
 Граница раскатывания 122—124, 148
 » текучести 122—124
 Гумус 97, 100, 118
- Дельювий 51, 189
 Диабазы 14, 15, 19, 20, 23, 46
 Диориты 14, 16, 19—21, 23, 24, 46
 Доломит 14, 16, 26, 31, 35, 40
 Емкость обмена 99
 Закон Кулона 145
- Известняки 15, 16, 26, 30, 40, 56, 64
- Кальцит 12, 14, 15, 25, 30, 33, 35, 37, 39, 94
 Каньон 53
 Каслинит 12—15, 38, 93, 97
 Капиллярное поднятие 136
 Кварц 12—14, 16, 18, 22, 23, 34, 35, 36, 93
 Кварцит 16, 29, 34, 35, 37, 55
 Коагуляция 96
 Компрессионная кривая 143, 144
 Конгломерат 28
 Консистенция грунтов 121, 122, 126, 148
 Конус выноса 51
 Коэффициент внутреннего трения 146, 147, 189
 » геологический 200
 » неоднородности 115
 » пористости 143, 144
 » сжимаемости 144
 » угловом 147
 » уплотнения 144
 » фильтрации 69, 114, 133—135
- Кратер 45.
- Лёссы 50, 61, 62, 80, 82, 83, 136, 158, 159, 164, 212
- Магма 19, 20, 45
 Меандры 53
 Межень 52
 Метаморфизм 33, 34
 Монтмориллонит 25, 93, 94, 97
- Обвал 191
 Овраги 50
- Пептизация 96
 Пески (песок) 16, 26, 27, 61, 62, 84, 102—104, 115, 133
 Песчаник 26—29, 40, 64
 Пирит 16
 Полевые шпаты 14, 17, 18, 22
 Пористость 121, 142, 143
 Пучение 174, 175
 Пучины 141
- Размокание 137, 166
- Сапропелит 87
 Сапропель 60, 87, 92, 192
 Сели 51
 Сингония 11
 Сжимаемость 143, 144
 Сток поверхностный 63
 » подземный 63
 Структура 21, 173
 Суглинки 56, 64, 80, 103, 104, 123
 Супеси 64, 103, 104, 122, 123
- Такыр 166
 Тальвег 52
 Текстура 21
 Торф 60, 85—88, 92, 100, 118, 133, 156, 191
- Угол внутреннего трения 147
 Ущелье 53
- Фильтрация 64
- Число пластичности 122
- Элювий 39, 84
 Эоловые отложения 61, 203
 Эрозия 41, 50, 186
 » глубинная 53
 » боковая 53
 » ветровая 186

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ. ГЕОЛОГИЯ	
Глава I. Общие сведения о геологии и строении Земли	4
§ 1. Предмет изучения геологии	4
§ 2. Роль русских ученых в развитии геологии	6
§ 3. Значение геологии в дорожном строительстве	7
§ 4. Земля и ее форма	8
§ 5. Строение Земли и ее оболочек	9
Глава II. Минералы земной коры	11
§ 1. Общие сведения о минералах и их физических свойствах	11
§ 2. Главные породообразующие минералы и их определение	14
Глава III. Горные породы	18
§ 1. Классификация горных пород	18
§ 2. Изверженные горные породы	19
§ 3. Осадочные горные породы	25
§ 4. Метаморфические горные породы	33
§ 5. Определение горных пород	36
§ 6. Выветривание горных пород	37
Глава IV. Геологическая деятельность внутренних (эндогенных) сил Земли	40
§ 1. Тектонические явления и горообразование	41
§ 2. Вулканизм	45
§ 3. Землетрясения	46
Глава V. Геологическая деятельность внешних (экзогенных) сил Земли	49
§ 1. Деятельность текучих вод	49
§ 2. Деятельность моря	55
§ 3. Деятельность ледников	57
§ 4. Озера, болота и их отложения	59
§ 5. Деятельность ветра	61
Глава VI. Подземные воды	63
§ 1. Образование подземных вод и их классификация	63
§ 2. Грунтовые воды	66
§ 3. Напорные воды и источники	67
§ 4. Законы движения подземных вод и методы искусственного понижения уровня грунтовых вод	69
§ 5. Химический состав подземных вод	71
§ 6. Оползни, карст, осыпи	72

Глава VII. Краткие сведения об истории развития земной коры 76

§ 1. Понятие о геологическом возрасте	76
§ 2. Развитие жизни на Земле и основные геологические события	77
§ 3. Четвертичные отложения	80
§ 4. Геологические карты	88

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ. ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Грунтоведение

Глава VIII. Общие сведения о грунтах и их классификация 90

§ 1. Понятие о грунтах и их классификация	90
§ 2. Главнейшие минералы, входящие в состав грунтов	93
§ 3. Коллоиды в грунтах, их состав и свойства	94
§ 4. Поглощительная способность грунтов	97
§ 5. Состав органической части грунтов	100

Глава IX. Гранулометрический состав грунтов 101

§ 1. Понятие о гранулометрическом составе и свойствах частиц грунта	101
§ 2. Классификация грунтов по гранулометрическому составу с учетом их пластичности	102
§ 3. Принципы определения гранулометрического состава грунтов	105
§ 4. Определение гранулометрического состава лабораторными и полевыми методами	106

Глава X. Физические свойства грунтов 117

§ 1. Плотность частиц грунта	117
§ 2. Влажность	118
§ 3. Плотность грунта	119
§ 4. Пластичность и липкость	121
§ 5. Набухание и усадка	125

Глава XI. Водные свойства грунтов 126

§ 1. Вода в грунтах и формы ее связей	126
§ 2. Движение воды в грунтах	128
§ 3. Влагоемкость, водопроницаемость и водоподъемная способность грунтов	130
§ 4. Роль воды при использовании грунтов в дорожном строительстве	137
§ 5. Водный и тепловой режим земляного полотна и его регулирование	139

Глава XII. Механические свойства грунтов 141

§ 1. Понятие об устойчивости грунтов под нагрузкой	141
§ 2. Зависимость между давлением и пористостью	143
§ 3. Трение и сцепление. Сопротивление грунтов сдвигу	145
§ 4. Максимальная плотность и оптимальная влажность грунтов	147
§ 5. Модуль упругости грунтов	152

Глава XIII. Почвы и почвенные зоны СССР 153

§ 1. Понятие о почвах и почвообразовательный процесс	153
§ 2. Формирование генетических горизонтов почвы и внешние (морфологические) признаки почв	154
§ 3. Генетическая классификация почв и их зональность в природе	159
§ 4. Почвенные зоны СССР, их распространение и характеристика	161

§ 5. Краткая характеристика дорожно-климатических зон	167
Глава XIV. Вечномерзлые грунты	171
§ 1. Общие сведения о вечномерзлых грунтах и их распространение в СССР	171
§ 2. Температурный режим вечномерзлых грунтов	172
§ 3. Особенности свойств грунтов при замерзании	173
§ 4. Особенности строительства сооружений в зоне вечномерзлых грунтов	176
Инженерно-геологические обследования	178
Глава XV. Общие приемы инженерно-геологических работ при изысканиях автомобильных дорог	178
§ 1. Общие сведения об инженерно-геологических обследованиях	178
§ 2. Краткая характеристика применяемого оборудования	180
§ 3. Документация полевых обследований	182
§ 4. Общие вопросы охраны природы и защиты окружающей среды	184
Глава XVI. Инженерно-геологические обследования вдоль трассы	186
§ 1. Обследование грунтов вдоль трассы в целях устройства земляного полотна	186
§ 2. Обследование оползневых участков, глубоких выемок, косогоров и других мест	188
§ 3. Обследование мостовых переходов	192
§ 4. Обследование болот	193
§ 5. Геофизические методы разведки	195
Глава XVII. Поиски и разведка дорожно-строительных материалов	196
§ 1. Предварительная разведка	196
§ 2. Детальная разведка	199
§ 3. Особенности разведки месторождений песка, гравия, камня	203
§ 4. Особенности разведки местных материалов, подвергаемых укреплению	207
§ 5. Краткие сведения о методах укрепления грунтов и подбора состава смесей	209
§ 6. Охрана и защита окружающей среды при поиске и разведке дорожно-строительных материалов	216
Список литературы	216
Приложение I. Время, необходимое для взятия пробы в зависимости от температуры суспензии	218
Приложение II. Определение гранулометрического состава грунтов в полевых условиях	220
Предметный указатель	221

70 к.

4251



НЕДРА