

НАУЧНО – ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Инженерная геология

1. Цели изучения дисциплины

Геологическая среда – неотъемлемая часть природно-технической системы (ПТС) «сооружение – основание», без которой система и сооружение, в частности, не могут существовать. Цель инженерной геологии - дать студенту представление о геологической среде и ее работе совместно с конструкциями сооружения.

Данный курс предваряет инженерную геологию и раскрывает суть ее исторического метода. Свойства основания и геологической среды сооружений в целом в инженерной геологии определяются через анализ возраста отложений, а также условий и способа их образования. В курсе рассматриваются: 1) состав геологической среды – минералы и горные породы с выходом на свойства и классификацию грунтов; 2) её строение – слоистость, зональность, дефектность (карстовые пустоты, оползневые тела и т.п.); 3) подземные воды; 4) геологические процессы протекающие в естественных условиях в природной среде, а так же возникающие при строительстве и на застроенной территории при эксплуатации зданий и сооружений

На зачете и экзамене студент должен показать знание горных пород и минералов, уметь читать геологическую графику, знать законы геологии, гидрогеологии, иметь представление об инженерно-геологических изысканиях, уметь решать простейшие задачи инженерной геологии. Студенты должны знать историко-генетическую классификацию горных пород и классификацию грунтов ГОСТ 25100-95.

2. Содержание дисциплины

№ п/п	Темы и их содержание
1	Введение. Инженерная геология – как наука об охране и рациональном использовании геологической среды. Единство сооружения с геологической средой в составе природно-технической системы. Исторический и генетический анализ – основной метод инженерной геологии.
2	Происхождение и свойства минералов осадочных горных пород – солей, оксидов, осаждаемых из воды и, часто, растворимых, либо коллоидно-активных. А также минералов магматических и метаморфических пород – силикатов, кристаллизующихся при высоких температурах и давлениях, стойких на поверхности земли к химическим и механическим воздействиям.
3	Процессы формирования горных пород: место, скорость их протекания. Классификация пород на магматические, осадочные и метаморфические по истории их образования и преобразования во времени.
4	Грунты, как природные образования. Их состав, структура, текстура и свойства, как результат процессов в земной коре и на ее поверхности. ГОСТ 25100-95
5	Геологические карты и их разрезы. Основы геохронологии и стратиграфии. Первичные и тектонические формы залегания горных пород.
6	Подземные воды. Виды воды в грунте. Типы водоносных горизонтов. Движение подземных вод по закону Дарси. Приток к скважинам, котлованам.
7	Эндогенные процессы. Сейсмичность. Сейсмическое районирование и микрорайонирование.
8	Экзогенные геологические процессы: подтопление, суффозия, карст, оползни, сели, пучение, набухание, осадка, усадка, просадка, провалы, обвалы. Условия и причины возникновения. Меры защиты геологической среды и сооружений от опасных процессов.
9	Инженерные изыскания в строительстве. Задачи изысканий, место в строительстве, организация, методы, оборудование. Форма представления результатов. Техническое задание на изыскания.

3. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература:

1. Ананьев В.П., Потапов А.Д. «Инженерная геология». Москва, «Высшая школа», 2007 г.

Дополнительная: литература

1. ГОСТ 25100-95. Грунты, классификация.
2. Чернышев С.Н., Чумаченко А.Н., Ревелис И.Л. «Задачи и упражнения по инженерной геологии». Изд.2-ое., «Высшая школа», 2004 г.
3. Чернышев С.Н., Чумаченко А.Н., Ревелис И.Л. «Задачи и упражнения по инженерной геологии» Изд. 3-е, исправленное, «Высшая школа», 2002 г.
4. Платов Н.А., Кашперюк П.И., Тимофеев В.Ю. Учебное пособие « Основы минералогии, кристаллографии и петрографии». МГСУ, 2007г.
5. Кашперюк П.И., Потапов А.Д. и др. Учебное пособие «Инженерная геология и геоэкология». МГСУ, 2007г.
6. СНиП 11-02-96. «Инженерные изыскания для строительства». Основные положения.
7. СНиП 22-02-2003. «Инженерная защита территории зданий, сооружений от аномальных геологических процессов». Москва. Стройиздат.

Конспект лекций

Раздел I – Основные сведения по общей геологии

Глава 1 Земная кора, как геосфера Земного шара

Земля – это космическое тело в составе Солнечной системы, в которую входят планеты, спутники планет, астероиды и кометы.

Планет в солнечной системе девять. К планетам земного типа относятся Меркурий, Венера, Земля и Марс, к внешним планетам – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон. Радиус Солнечной системы 5,917 млрд.км. (от Земли до Солнца 149,509 км). Планеты земного типа относительно плотные, но обладают сравнительно небольшими размерами и массой. Меркурий лишен атмосферы, на остальных планетах этого типа она имеется, причем на Марсе атмосфера близка земной. Внешние планеты имеют большие размеры и массу, но отличаются сравнительно небольшой плотностью. Атмосфера этих планет состоит, главным образом, из метана и аммиака.

Главные особенности Земли, как планеты, заключаются в наличии жизни, обилии воды (более 71%), небольших размерах (радиус всего 6370-6380 км), большой плотности (5,5 г/см³), большом возрасте (4600 I 200млн лет). Суша на поверхности Земли составляет всего 29%.

О происхождении Земли. Этот вопрос является важным положением естествознания. Земля родилась 4 миллиарда 600 миллионов лет назад. Во всяком случае, так думают ученые. Было немало споров да и сейчас они идут – по поводу того, как это произошло. Большинство ученых сегодня склонны думать, что Земля создавалась из пыли – точнее, из некоего газопылевого облака. Это облако за счет близкой вспышки сверхновой звезды приобрело достаточную плотность и продолжало сжиматься под действием сил гравитации. В результате появилось тело, состоящее из газов и взвеси твердых частиц, в нем началось перераспределение вещества, легкие элементы – водород, гелий – ушли на периферию тела, а тяжелые, например, железо, внутрь.

В середине XX в в этом направлении работал российский акад. О.Ю.Шмидт, который выдвинул гипотезу происхождения планет Солнечной системы, в том числе и Земли, согласно которой Солнце на своем пути пересекло и захватило одно из пылевых скоплений Галактики, поэтому планеты образовались не из раскаленных газов, а из пылевидных частиц, вращающихся вокруг Солнца. В этом скоплении со временем возникли уплотненные сгустки материи, давшие начало планетам.

Заслуживает внимания гипотеза В.Г.Фесенкова, который считает, что в недрах звезд, в том числе и Солнца, протекают ядерные процессы. В один из периодов времени это привело к быстрому сжатию и увеличению скорости вращения Солнца. При этом образовался длинный выступ, который потом оторвался и распался на отдельные планеты.

Гипотез о происхождении Земли, как и всей Солнечной системы, существует достаточно много. Обзор всех этих гипотез детально рассмотрен в книге профессора Ростовского государственного университета И.И.Потапова «Геология и экология сегодня» (1999г).

В заключение следует отметить, что на сегодня обоснованной теории происхождения Земли еще нет, отдельные гипотезы рассматривают только часть вопросов этой сложнейшей проблемы современного естествознания. Решение этой проблемы лежит в будущем.

Форма Земли обычно именуется земным шаром. Установлено, что масса Земли равна $5,98 \times 10^{27}$ г, объем $1,083 \times 10^{27}$ см³. Средний радиус равен 6371км, средняя плотность 5,52г/см³, среднее ускорение силы тяжести 981Гал.

Форма Земли близка к трехосному эллипсоиду вращения с полярным сжатием, у современной Земли полярный радиус 6356,78 км, а экваториальный 6378,16 км. Длина земного меридиана составляет 40008,548 км, длина экватора 40075,704 км. «Сплюснутость» Земли обусловлена ее вращением. Иногда форму нашей планеты именуют сфероидом, но для Земли чаще используют термин геоид.

Строение Земного шара. Большая часть знаний о том, что же находится в недрах Земли, этого огромного шара, в целом, пока не выходит из области научных предположений.

Внутреннее строение изучается путем: 1) прямых непосредственных наблюдений и 2) геофизических методов. К числу прямых наблюдений по изучению глубин Земли относятся изучение глубин Земли с помощью буровых скважин, шахт, тоннелей. Глубина скважин редко превышает 5 км. Исключение составляют только несколько сверх глубоких скважин, но и их глубина не превышает 15 км, что объясняется пределом современных технических возможностей. Такая глубина позволяет судить только о геологии земной коры, но не всей Земли. В России такую сверхглубокую скважину пробурили на Кольском полуострове (12,262 км), США это сделали через дно океана, но значительно меньшую глубину, в Германии такая скважина превысила 9 км.

Сверхглубокие буровые скважины открыли много нового в строении и составе земной коры. Так, например, Кольская скважина на глубине 1600-1800 метров вскрыла рудное тело с промышленным содержанием меди и никеля, в то время, как раньше полагали никель глубже 700м встречаться не должен. Пока вполне очевидно, что по результатам проходки малого числа сверхглубоких выработок сделать окончательные выводы о строении земных недр нельзя.

Определенные сведения о том, что находится внутри Земли, получают по лаве, которая извергается из вулканов, но и в этом случае сведения ограничены, т.к. очаги вулканов не превышают 100 км глубины.

Геофизические методы познания глубин Земли также являются косвенными, но они все же приносят определенные сведения о том, что происходит внутри Земли. Наиболее интересные результаты дает раздел геофизики, который посвящен волнам – это сейсмология. Важнейшим научным открытием начала XX века стал основанный на данных сейсмологии вывод о наличии в Земле концентрических оболочек различной плотности – земной коры, мантии и ядра. Такие оболочки получили название геосфер. Это внутренние геосферы, а к внешним относятся гидросфера, атмосфера и биосфера, которая занимает гидросферу и пограничный слой земли с атмосферой. Геосферы показаны на рис.1.

Внешние геосферы. Атмосфера располагается от поверхности Земли на высоте 1300 км, но уже выше 100 км ее следы ничтожны. Главными составляющими являются азот, кислород, углекислота и пары воды; другие газы присутствуют постоянно, но в малых количествах, хотя некоторые из них имеют большое значение для биосферы. Озон концентрируется на высоте 10-15 км и образует слой, который защищает все живое от вредного ультрафиолетового излучения Солнца. Атмосфера состоит из трех слоев: тропосферы до высоты 8 км стратосферы – до 55 км и выше – ионосферы. Тропосфера определяет климат, который бывает континентальным, с большой разницей ночных и дневных температур, и морским, с незначительной разницей температур. С удалением от поверхности Земли температура атмосферы резко понижается и на высоте 10-12 км она уже составляет около -50°C . В тропосфере происходит образование облаков и сосредотачиваются тепловые движения воздуха. У поверхности Земли наиболее высокая температура была отмечена в Ливии ($+58^{\circ}\text{C}$ в тени). Наиболее низкая температура зафиксирована в Антарктиде (-89°C), а на территории России в Якутии (-71°C).

Гидросфера, или водная оболочка Земли, включает воду морей и океанов, рек, озер и болот, льды, подземные воды. Средняя мощность гидросферы около 3,8 км, наибольшая – 11521м (Марианская впадина в Тихом океане), по отношению к объему земного шара объем гидросферы не превышает 0,13%, температура воды самая высокая в Персидском заливе ($+35,6^{\circ}\text{C}$), а наиболее низкая в Северном Ледовитом океане ($-2,8^{\circ}\text{C}$). Более 98% всех водных запасов Земли составляют соленые и минерализованные воды, а пресных всего 2%. В России достаточно большие запасы пресной воды.

Гидросфера играет важную роль в проявлении многих геологических процессов, как созидательного, так и разрушительного плана. Изучение гидросферы, в частности, мирового океана продолжается. Установлено поверхность океана не идеально гладкая и поэтому понятие «уровень моря» на сегодня не совсем точное. Поверхность океанов имеет пять гигантских впадин и выпуклостей. Так, например, к югу от острова Цейлон поверхность океана опущена на 112м, а в районе островов Новая Гвинея поднята на 78м.

Биосфера – это область распространения живого вещества, которая находится в постоянном взаимодействии с земной корой, гидросферой и атмосферой. Значительная часть геологической истории Земли связана с деятельностью животных и растительных организмов, особенно в поверхностной части земной коры, так например, образовывались известняки-ракушечники, торфы и др. Биосфера в атмосфере распространяется до озонового слоя, в океане на всю толщу воды, в земной коре видимо тоже на большую глубину, как показали сверхглубокие буровые скважины.

Внутренние геосферы. Остановимся более подробно на характеристике земной коры, которая является источником минерального сырья, сферой жизни человечества и его строительной деятельности.

Земная кора представляет собой самый верхний слой Земли, это каменная оболочка, залегающая на верхней мантии. Она формировалась, да и сейчас продолжает непрерывно видоизменяться, под действием трех основных процессов: 1) эндогенных, 2) экзогенных и 3) седиментационных. Эндогенные процессы включают в себя тектонические движения и магматические проявления, которые ведут к вертикальным перемещениям в земной коре – поднятиям и опусканиям, что создает основные формы рельефа Земли (горы, равнины, океанические впадины).

Экзогенные процессы за счет процесса выветривания, эрозии, абразии и гравитационных сил производят выравнивание рельефа Земли.

В настоящее время земную кору разделяют на континентальную и океаническую (рис.2). Континентальная кора имеет среднюю мощность 35-45 км, максимальная в горных районах – до 75 км. В верхней части коры располагается осадочный покров (глинистые и карбонатные породы, пески и т.д.). Мощность покрова достигает 15 км. и более. Под этим покровом располагаются кристаллические горные породы (магматические и метаморфические). Сверх глубокие буровые скважины Мира, пройденные во второй половине XX века в различных странах (Россия, США, Швеция, Германия, Австрия), изменили представление о наличии якобы двухслойного строения земной коры. Раньше считали, что ее верхняя часть – это гранитная толща, а ниже располагается базальтовый слой. Теперь геофизика показала, что земная кора единое целое по составу горных пород, но прослеживается как бы два «слоя». Раздел между этими «слоями» обусловлен изменением с глубиной свойств камня в связи с высоким давлением и температурой. Полагают, что при этом граниты по своим физическим характеристикам становятся похожи на базальты, и наоборот. Океаническая земная кора отличается меньшей мощностью (5-10 км). Верхняя ее часть также покрыта слоем (менее 1 км) донных осадочных пород.

Из 87 известных на Земле химических элементов лишь 8 составляют основную массу земной коры (~ 99%). Химические элементы присутствуют в виде соединений и реже в свободном виде.

Химический состав земной коры в целом выглядит следующим образом (в %): кислород (46,8), кремний (27,3), алюминий (8,7), железо (5,1), кальций (3,6), натрий (2,6), калий (2,6), магний (2,1) и другие (1,2).

В земной коре содержатся радиоактивные элементы – уран U^{232} , торий Th^{237} , калий K^{40} и другие. Основная их масса тяготеет к гранитам континентальной части земной коры.

В геологии земную кору объединяют с верхней частью мантии. Все это «каменная» оболочка и называют ее литосферой. Мощность литосферы неопределенна и колеблется, вероятно, от 50 до 200 км.

Глава 2 Тепловое состояние земной коры

Тепло в земную кору поступает за счет солнечной радиации (99,5%), которая обогревает Землю с поверхности, и тепла, поступающего из недр Земли (0,5%). Внутреннее тепло, как это предполагают, связано с радиоактивными процессами и проявляется, в основном, разогревании внутренних геосфер Земли.

Эти два основных источника тепла в земной коре создают три температурных зоны: 1) переменных, 2) постоянных и 3) нарастания температур (рис.3).

Зона переменных температур. Солнце в течении 1 мин отдает на 1 см^2 земной поверхности, ориентированной перпендикулярно солнечным лучам, примерно, 8,1 Дж тепла. Эта величина называется солнечной постоянной.

Под влиянием солнечной радиации происходят геологические процессы на поверхности Земли и в земной коре – круговорот воды, разрушение и созидание минеральных тел в процессе выветривания. Это тепло на Земле играет основную роль в жизни органического мира. Амплитуды колебаний температур на земной поверхности изменяются в широких пределах: от -90°C (Антарктида) до $+65^{\circ}\text{C}$ (Африка).

Температуры на различных участках одной и той же широты Земли не одинаковы и зависят от рельефа местности, растительного покрова.

В зоне переменных температур различают колебания температур: 1) вековые, 2) годовые, 3) сезонные, 4) месячные и 5) суточные. Для строительства наибольшее значение имеют сезонные колебания температур.

Из рис.3 видно, что влияние солнечного тепла в зоне 1 сказывается лишь до определенной глубины. Тепло проникает в земную кору примерно до глубины 25м. Температура в этой зоне определяется среднегодовой температурой воздуха данной местности, например, для Москвы она равна $+4,2^{\circ}\text{C}$ и зафиксирована на глубине 20м. Суточные колебания температур практически не сказываются глубже 1,5м.

На территориях, где не бывает морозной зимы, температуры в зоне 1 всегда положительные (рис.3, кривая «а»), а в районах с морозными зимами в зоне 1 появляется подзона 1а, где породы в зимнее время промерзают. Это сезонная мерзлота. В ней дисперсные породы и техногенные грунты замерзают за счет перехода в их порах воды в твердое состояние (лед). В скальных породах вода замерзает в трещинах и активно их разрушает за счет расклинивающего действия образующегося льда (увеличение объема льда достигает 9,1%).

В процессе сезонного промерзания дисперсные связные и несвязные породы за счет ледяного цемента приобретают повышенную прочность, несколько увеличивают свой объем и становятся водонепроницаемыми. Предел прочности при сжатии мерзлых суглинков и глин достигает 6 МПа и более, что создает большие трудности при их механической разработке. При небольшой влажности (например, в песках) свойства пород при переходе от положительной к отрицательной температуре практически мало меняются. В весеннее время лед в породах растаивает. Породы теряют прочность, особенно это сильно проявляется в глинистых, органоминеральных и органических породах.

В дорожном и аэродромном строительстве сезонное промерзание толщ пород (подзона 1 «а») всегда учитывается, необходимо определять глубину промерзания (d_f). Величина d_f колеблется от нескольких сантиметров до 2-3м. Ее определяют: 1) по карте СНиПа, где показывается среднее значение каждой местности, 2) по расчетным формулам и 3) по итогам многолетних наблюдений (более 10 лет) за глубиной промерзания в данной местности. Искомое значение d_f используют при проектировании аэродромов и дорожных трасс. Так как дороги имеют большую протяженность, проходят по различным породам и климатическим поясам, то величина d_f для различных участков дороги может иметь разные значения. В тех случаях, когда при проектировании автодорог сезонное промерзание не было учтено дорожная одежда начинает разрушаться.

Зона постоянных температур (зона 2) располагается под зоной 1 (рис.3). Она ориентировочно лежит в умеренных широтах на глубине от 15 до 40 м. В этой зоне температуры круглый год одни и те же и соответствуют среднегодовой температуре данной местности. Под Москвой зона 2 начинается с глубины 20м, а в Санкт-Петербурге с 19,6м. Постоянство тепла в зоне 2 объясняется равномерным его притоком из глубин земной коры. Приток тепла за счет солнечной радиации отсутствует.

Зона нарастания температур (зона 3) по глубине располагается под зоной 2 (рис.3). В этой зоне под влиянием внутреннего тепла земли температура с глубиной непрерывно повышается. Для характеристик этого повышения введено два понятия – геотермический градиент и геотермическая ступень.

Геотермический градиент – это величина, на которую повышается температура горных пород с увеличением глубины на каждые 100м. В среднем этот градиент равен $+3^{\circ}\text{C}$. Геотермическая ступень – это интервал глубины земной коры в метрах, на котором температура повышается на $+1^{\circ}\text{C}$.

Геотермическая ступень колеблется в широких пределах, что связано с литологией и геологическим залеганием горных пород, движением подземных вод, близостью вулканических

очагов и т.д. В среднем для толщ осадочных пород она принимается равной 33 м, а в действительности колеблется от 5 до 160 м (на территории России чаще от 20 до 100 м).

Строгая закономерность в нарастании температур отсутствует, поэтому истинные значения температур чаще всего определяются с помощью буровых скважин. Так в Ставрополе на глубине 1000 м температура равна +70°C, в Невинномыске – на глубине 1500 м около 109°C, в Гурьеве – на 3000 м почти 108°C, а в Москве на 1600 м - 41°C.

Постоянство температуры в зоне 2 и увеличение температуры с глубиной в зоне 3 представляет практический интерес при проходке дорожных тоннелей, особенно, в горных районах, а также при строительстве метрополитенов. Величины возможных температур определяются в процессе бурения скважин и по расчетным формулам.

Глава 3 Движения земной коры

3.1 Общие положения

Для земной коры свойственны тектонические процессы, которые обуславливают постоянную ее перестройку и развитие. Движущей силой процессов является, в основном, внутренняя энергия Земли. Тектонические процессы обуславливают движения земной коры, т.е. тектонические движения. Эти движения изучает наука геотектоника.

3.2 Характеристика тектонических движений

В земной коре движения проявляются по-разному, как во время, так и в пространстве. Во времени движения проявляются в виде медленных (эпейрогенических) и быстрых (орогенических, – горообразовательных) движений. По положению в пространстве (по преобладающему направлению) тектонические движения бывают радиальные (по радиусам Земли), действующие вертикально вверх и вниз, и тангенциальные, направленные горизонтально.

Основные структуры земной коры. Строение ее по горизонтали очень сложное, но для понимания тектонических движений это можно упростить, если принять за основу положение, что земная кора состоит из двух основных структур – платформ и геосинклиналей.

Платформы. Это наиболее крупные структуры земной коры - континенты и впадины океанов. Платформы устойчивые и жесткие структуры. Для них типичны спокойные, медленные колебательные движения вертикального характера. Такие движения называют эпейрогеническими. Они выражаются в том, что отдельные участки земной коры на протяжении многих столетий испытывают поднятие, в то время как другие территории опускаются. Движения медленные, но длительные по времени, обуславливают границы между сушей и морями, обмеление или усиление размывающей деятельности рек, формирование рельефа Земли, изменение положения уровней водохранилищ, движение воды в самотечных каналах, и многое другое.

Интересно отметить, что платформы (материки) имеют тенденцию к горизонтальным подвижкам. Так на основе данных, полученных с искусственных спутников Земли, установлено, что только за пять лет Австралия «подплыла» к Японским островам на 38 сантиметров (76 миллиметров в год), Европа – на 19 сантиметров, Северная Америка – на 11, Гавайские острова – на 39 сантиметров (78 миллиметров в год). Ученые подсчитали, что если такой темп движения сохраниться, то ближайший к Японии сосед - Гавайские острова сольются с Японскими островами через 100 миллионов лет.

Для инженерной геологии особый интерес представляют современные эпейрогенические движения платформ, которые вызывают изменение высот поверхности земли. Скорость этих движений определяется точными геодезическими работами. Годичная скорость чаще всего равна нескольким миллиметрам, но имеются участки Земли, где скорость равна 1-2 см/год и даже больше. Цифры небольшие, но за длительное время они вырастают в значительные величины. Так, например, Скандинавия только за последние 50 лет поднялась на 19 см. Много веков интенсивно опускаются районы Нидерландов (40-60 мм/год).

Колебательные движения прослеживаются также в России. Среднерусская возвышенность поднимается до 1,5-2 см/год, районы Курска – до 3,6 мм/год. Ряд территорий испытывает опускание поверхности Земли: Москва (3,7 мм/год), Санкт-Петербург (3,6 мм/год) Восточное Предкавказье (5-7 мм/год).

Современные колебания поверхности Земли учитывают при строительстве крупных водохранилищ, высоких плотин, мелиоративных систем, но особенно при сооружении аэродромов и космодромов.

Геосинклинали – это участки земной коры являющейся подвижными сочленениями платформ. Для них характерны разнообразные тектонические движения, среди которых преобладают сильные, резкие, непредсказуемые по времени и в пространстве, с ними связаны вулканизм и сейсмические явления. В геосинклиналях возникают разломы земной коры, происходит интенсивное накопление мощных толщ осадочных пород. Тектонические силы выводят слои осадочных пород из горизонтального положения и придают им форму складок. К геосинклиналям относятся: 1) широтный пояс, который охватывает Средиземноморье, Кавказ, Переднюю Азию и до Индонезии; в состав пояса входят Алтай, Саяны, Прибайкалье, 2) кольцевой Тихоокеанский пояс - Северная и Южная Америки, Япония, Сахалин, Курильские острова, Камчатка, юг Приморья.

Вулканизм. Вулканы – это горы или возвышения конусовидной формы, которые созданы выходящей на поверхность Земли магмой. Магма выходит из вулканов, растекается по его склонам и по окружающей местности. В этих случаях магму называют лавой.

Вулканы разделяют на действующие, т.е. которые периодически извергают магму, и потухшие. К потухшим относят вулканы, которые в настоящее время не действуют. Но история знает случаи, когда потухшие вулканы возобновляли свое действие, так было с вулканом Везувием (Италия), неожиданное извержение которого произошло в 79г н.э., что привело к гибели трех городов. Потухший ныне вулкан Казбек (Кавказ) еще действовал в начале четвертичного периода, и его лавы во многих местах залегают на Военно-грузинской автодороге (рис.4). На сегодня известно более 850 действующих вулканов, из них 76 располагаются на дне океанов. На территории России вулканы находятся на Камчатке (28 действующих) и на Курильских островах (10 действующих). Наиболее крупными являются вулканы Ключевская Сопка (высота конуса горы 4850м), Авачинский, Карымский, Безымянный.

Извержения вулканов происходит по-разному – в виде взрывов и бурного выхода газов и последующего излияния лавы или спокойно, без взрывов, когда лава медленно выходит из вулкана и растекается вулканического конуса. Вулканы Камчатки и Курильских островов относятся к наиболее опасным, т.е. взрывным. Извержение таких вулканов начинается с подземных толчков, далее следуют взрывы с выбросом лавы, газов и водяных паров, лавы и камней.

Лавы образуют потоки, ширина и длина которых зависит от уклонов конусов горы и окружающего рельефа местности. Известен случай, когда длина лавового потока достигла 80 км (Исландия), при мощности потока в 10-50м. Скорость течения потоков различная и зависимость от типа магмы и колеблется от 5-7 км/час до 30 км/час. При взрыве вулканов из их жерла одновременно с лавой вылетает твердый обломочный материал в виде **обломков пород** разного размера: 1) глыб (бомб) весом до несколько тонн, 2) куски, которые называют лапилли (1-3 см в диаметре) и 3) частицы в виде песка и пыли. Пылеватые частицы называют **вулканическим пеплом**. Все эти обломки разлетаются на различные расстояния, создают многометровые наносы. Наиболее далеко уносится вулканический пепел (сотни и даже тысячи километров).

Одновременно с лавой и камнями вулканы выбрасывают **газы**. В большинстве случаев газы ядовитые. Не менее опасны водяные пары, которые быстро переходят в жидкую воду, что приводит к образованию на склонах и у подножий конусов грандиозных грязевых потоков (селей), которые растекаются далеко от вулканов, обладая при этом большой разрушительной силой, создают многометровые наносы.

Строительство автодорог и аэродромов вблизи вулканов имеет свои особенности. Их необходимо строить на определенном отдалении от действующих вулканов. Расстояние обычно определяется из многолетнего опыта строительства в каждом конкретном районе и с учетом особенностей извержений того или иного вулкана. Интересен случай, борьбы с вулканом. Извержение вулкана Этна (Сицилия) продолжалось 130 дней. В потоки лавы было заброшено 300 тонн цементных блоков, связанных тяжелыми стальными цепями. Это изменило направление главного потока лавы и сохранило целостность селения.

3.3 Сейсмические явления

Сейсмические (от греческого, сейсмо – сотрясение) явления проявляются в виде упругих колебаний земной коры. Это происходит вследствие того, что в недрах земной коры возникают напряжения, которые в конечном итоге находят выход в распрямлении сжатых пород, что проявляется в виде толчков. Таким образом сейсмические толчки – явление чисто механическое. При толчках возникают упругие волны, которые называются сейсмическими. Эти волны делятся на продольные и поперечные. Продольные волны (или волны сжатия – растяжения) заставляют колебаться частицы пород в направлении совпадающем с движением волны. Поперечные волны (или «волны сдвига») распространяются в направлении перпендикулярном к направлению движения продольных волн. Скорость и энергия этих волн в 1.7 раза меньше, чем у продольных. При встрече упругих волн с поверхностью земли возникает новый вид волн - поверхностные волны. Это обычные волны тяжести, которые в свою очередь приводят к деформациям поверхности земли (рис.5).

Место, где возникает сейсмический толчок, в глубине земной коры, носит название гипоцентра. Глубина залегания гипоцентра бывает 1-10 км – это поверхностные сейсмические явления, 30-50 км – коровые и от 100-700 км – глубинные явления. Наиболее разрушительными для земной коры являются поверхностные сейсмические явления. Анализ сейсмических явлений показал, что в сейсмически активных районах Земли до 70% гипоцентров располагается до глубины 60 км. Проекция гипоцентра на дневную поверхность земли называется эпицентром.

Продолжительность действия сейсмических волн обычно ограничивается несколькими секундами, иногда минутами, но иногда бывает более длительное время. Так например в 1923г. на Камчатке сейсмическое явление продолжалось с февраля по апрель месяц (195 толчков).

Сотрясение земной коры сейсмического происхождения происходят очень часто и приносит огромный ущерб человечеству (рис.6). Ежегодно на земном шаре регистрируется около 100 тыс. сейсмических явлений, из которых около 100 приводят к разрушениям, а в ряде случаев к катастрофам, как, например, в г. Токио (1923г), Сан-Франциско (1906г), Чили и на острове Сицилия (1968г). Исключительное по силе сейсмическое явление произошло в Монголии (1956г). Один из горных пиков раскололся пополам, часть горы высотой в 400 м обрушилась в ущелье, образовалась сбросовая впадина длиной до 18 км и шириной около 800 м, на поверхности земли появились трещины шириной до 20 м, главная из которых протянулась в длину до 250 км.

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

Моретрясения возникают в океанических впадинах Тихого, реке Индийского и Атлантического океанов. Быстрое поднятие и опускание дна океана порождает на его поверхности пологие волны (цунами) с расстоянием между гребнями в несколько километров и высотой многие метры (рис.7). При подходе к берегам вместе с подъемом дна высота волны увеличивается до 15-20 м и более. Уникальный случай произошел в 1964г. на Аляске, где высота волны достигла 66 м при скорости движения в 585 км/час. Цунами передвигаются на расстояния в сотни и даже тысячи километров со скоростью 500-800 км/час и более.

В России цунами бывают в Тихом океане у берегов Камчатки и Курильских островов. Одно из таких цунами было в 1952г. Перед приходом волны море отступило на 500 м, а через 40 минут волна со страшной силой ударила в берега, разрушила все постройки и дороги, покрыла прибрежную территорию песком, илом и обломками пород. Через некоторое время, вслед за первой, пришла вторая волна высотой в 10-15 м, которая довершила разгром берега ниже десятиметровой отметки.

Цунами возникают реже землетрясений. Так за 200 последних лет на Камчатке и Курилах их было всего 14, из которых четыре были катастрофическими. Последнее глобальное катастрофическое цунами произошло в Индийском океане в конце декабря 2004 года, когда по общим оценкам погибло более 200 тысяч человек в Индонезии и странах Индокитая.

Строительство автодорог и аэродромов на берегах, куда может подойти цунами требует выполнения защитных мероприятий. В России, как и в сопредельных странах Тихоокеанского региона, действует служба наблюдений, которая своевременно оповещает о приближении цунами. Это позволяет укрыть людей от опасности. Автомобильные дороги размещают на высокой части рельефа, при необходимости прикрывают берега железобетонными молами, ставят волноотбойные стены, создают защитные земляные насыпи.

Землетрясения – это сейсмические явления на суше. В России землетрясения бывают на Кавказе, Алтае, Саянах, Прибайкалье, Сахалине, Курильских островах и Камчатке. Все эти территории находятся в геосинклинальном поясе. До настоящего времени только эти районы считались сейсмическими, но уже во второй половине 20-го века стало очевидным, что землетрясения при определенных условиях могут возникать и на платформах, хотя они в отличие от тектонических землетрясений имеют другое происхождение.

Для суши предлагается различать четыре типа землетрясений по происхождению: 1) тектонические, вызванные тектоническими силами земной коры и составляющие подавляющее большинство землетрясений. 2) Они характеризуются широкими площадями и большой силой или, иначе говоря, высокой балльностью. 3) Вулканические, связанные с извержением вулканов и имеющие локальное распространение, но тоже иногда с большой силой. Денудационные (обвальные и провальные), порождаемые падением больших массивов горных пород со склонов или падением в провалы в результате карстообразования. 4) Такие землетрясения имеют локальный характер и сравнительно небольшую силу. Техногенные, связанные с производственной деятельностью человека.

На сегодня вполне очевидно, что производственная деятельность человека может влиять на сейсмическую обстановку даже на глобальном уровне. Это так называемые наведенные землетрясения. Они могут быть вызваны заполнением обширных водохранилищ, откачкой нефти, газа, межпластовых подземных вод, ядерными взрывами, массированными военными бомбардировками и т.д. Выше приведенный перечень показывает, что человек может оказывать определенное воздействие на геологическое пространство и своей деятельностью способен создавать побудительные причины опасных тектонических событий, известных как природно – техногенные катастрофы.

Оценка силы землетрясений. Человечество уже многие столетия ведет наблюдение и регистрацию землетрясений на Земном шаре. Теперь широко используется специальная аппаратура, в частности, сейсмографы, которые позволяют качественно определять, где произошло землетрясение и оценивать его силу. Приборы автоматически регистрируют колебания Земли и вычерчивают сейсмограмму (рис.8).

Таблица 1

Сейсмическая 12-балльная шкала

Баллы	Сила землетрясений	Баллы	Сила землетрясений
1	Незаметная для человека	7	Очень сильная
2	Очень слабая	8	Разрушительная
3	Слабая	9	Опустошительная
4	Умеренная	10	Уничтожающая
5	Довольно сильная	11	Катастрофическая
6	Сильная	12	Сильно катастрофическая

В настоящее время выявлена зависимость землетрясений от строения, состава и состояния земной коры. Это выглядит следующим образом: 1) в плотных породах скорость распространения сейсмического толчка больше, нежели в рыхлых связных и несвязных осадочных породах, однако сила землетрясения (его балльность), наоборот, возрастает в последних. 2) Обводненность, водонасыщение, высокое положение уровня грунтовых вод увеличивают интенсивность землетрясений. Территории, сложенные пльвунами, илами, заболоченными и обводненными осадочными породами, являются районами повышенной интенсивности землетрясений. 3) Геологические структуры и тектонические нарушения, расположенные поперек движения сейсмических волн, могут уменьшать интенсивность землетрясений. 4) Отдельно стоящие и резко очерченные формы рельефа поверхности земли (холмы, крутые склоны гор и оврагов) могут повышать сейсмичность территории.

Каждое землетрясение обязательно сопровождается рядом физических явлений. Это звуки, световые эффекты, волны на твердых средах, обвалы, оползни и оплывы, трещины и провалы в земле, разрушения домов, дорог и мостов. Очень характерны звуки в виде «подземного гула».

Интенсивность проявления сейсмических явлений в земной коре оценивается по двум сейсмическим шкалам, т.е. существует два подхода к оценке силы землетрясений (сотрясаемости земной коры). Первый способ – интенсивность землетрясений оценивается по его проявлению и последствиям на поверхности Земли. Оценка производится в баллах по макросейсмической шкале. Каждый балл отвечает определенной величине сейсмического ускорения $a^{мм/с^2}$. По этой величине определяется коэффициент сейсмичности, который необходим для оценки прочности и устойчивости сооружений. В России, как в ряде других стран, используют шкалу из 12 баллов. Каждый балл отражает силу землетрясения на поверхности Земли.

Второй способ – сила землетрясения оценивается в гипоцентре по величине энергии толчка. Сейсмолог Рихтер составил шкалу в условных единицах – магнитудах. При землетрясении в одну магнитуду земля смещается на расстоянии 100 км от эпицентра на один микрон. Самое сильное землетрясение имеет магнитуду не более 9. Магнитуда, как характеристика энергии, излучаемая из гипоцентра, зачастую не отвечает тому, что происходит во время землетрясения на поверхности Земли. Землетрясения при одной и той же величине магнитуды, но при расположении гипоцентров на разной глубине в земной коре, обычно не соответствуют величинам баллов на земной поверхности. Так например, при магнитуде 6,7 при очень глубоком залегании гипоцентра землетрясение на поверхности Земли может быть 1-2 балла, а при неглубоком залегании гипоцентра 7-8 баллов.

При оценке сейсмических явлений на территории России важное место занимает сейсмическое районирование и прогноз возможных землетрясений. Сейсмическое районирование выражается в составлении сейсмических карт, по которым можно определять значение максимального балла для данной территории (рис.9). В последние годы карты обновляются, т.к. сейсмичность земной коры в ряде районов Земли возрастает. В большинстве случаев на новых картах значение баллов повышают. Стихия коварна. Это можно видеть на следующем примере. В 1976г землетрясение 8 баллов произошло в Узбекистане, был разрушен поселок Газли. Поселок отстроили, но в 1984г землетрясение повторилось, но уже с большей силой – 9 баллов и он был снова разрушен. Вполне очевидно, что карты необходимо корректировать.

В последние годы в России создана Карта общего сейсмического районирования территории страны (имеется в виду карта тектонических землетрясений). Из этой карты видно, что если раньше Сахалин, Камчатка, Курилы считались особо опасными по сейсмике, то теперь к этим территориям относят Восточную Сибирь и примыкающие к ней Прибайкалье и Забайкалье, включая горный Алтай. Для этих территорий возможно уже 9 баллов. Впервые на Карте появились зоны 10-балльных землетрясений (Сахалин, Камчатка, Курилы). Раньше таких районов в России не было. Территория Северного Кавказа с 6-7 – балльной оценкой переведена на 9 баллов.

Прогноз землетрясений. Предотвратить землетрясение нельзя. В жизни человечества важно иметь ответы на три вопроса – где, когда и какой силы произойдет землетрясение. Такой прогноз пока отсутствует, но наука работает в этом направлении.

Строительство дорожных сооружений учитывает землетрясения начиная с 6 баллов и осуществляется только согласно специальных строительных норм и правил (СНиП). Приблизительная величина балла определяется по карте СНиПа и корректируется в зависимости от рельефа, геологии и гидрогеологии данной местности. Корректировка баллов производится только в большую сторону.

В сейсмических районах автодороги и аэродромы рекомендуется строить вдали от крутых склонов гор и обрывов, откосы выемок и земляного полотна свыше 4 м делать более пологими. При 6 баллах и более высота насыпей и глубина выемок не должны превышать 15-20 м, водонасыщенные породы под насыпями следует осушать дренажами.

Глава 4 Вещественный состав Земной коры

Верхние толщи земной коры, находящиеся в сфере строительной деятельности человека, сложены минералами и горными породами. Минералы встречаются самостоятельно, но подавляющая их масса слагает собой горные породы.

Минералы изучает наука минералогия, горные породы – петрография, а техногенные каменные материалы – техническая петрография.

Горные породы при строительстве дорожных сооружений служат земляным основанием или средой, являются готовым строительным материалом (щебень, камень, песок и т.д.), либо сырьем для производства тех или иных строительных материалов или изделий (цемент, кирпич, гончарные трубы и т.д.).

4.1 Минералы

Минералы представляют собой минеральные образования, каждый из которых имеет определенные химический состав, внутреннюю структуру и физико-механические свойства.

В настоящее время следует различать два вида минералов: 1) природного происхождения, рождение которых связано с процессами в земной коре, и 2) искусственного образования, создаваемые в процессах производственной деятельности человека.

Природные минералы. В земной коре содержится около 3000 видов минералов и почти 7000 их разновидностей, но наиболее часто и в больших количествах в земле встречается не более 100 представителей. Такие минералы называют породообразующими, а остальные – редкими.

Каждый минерал формируется и может существовать в земной коре только в тех термодинамических условиях, в которых он родился. Для земной коры характерны три разных процесса минералообразования: 1) эндогенный, 2) экзогенный и 3) метаморфический.

Эндогенный процесс – минералы рождаются в недрах земной коры из магмы, которая представляет собой алюмосиликатный огненно жидкий расплав. При остывании магмы, образуются минералы – кристаллические, плотные, с большой твердостью. Они хорошо противостоят воде, кислотам, щелочам. В этом процессе рождается около 700 минералов, например, такие как кварц (SiO_2), полевые шпаты (ортоклаз) – $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$, оливин $-(\text{Mg,Fe})_2[\text{SiO}_4]$, роговая обманка $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_5(\text{Al,Fe}^{3+})[(\text{Si,Al})\text{O}_{11}](\text{OH})_2$ и другие.

Экзогенный процесс развит на поверхности Земли. Минералы рождаются на суше и в водной среде. На суше образование минералов связано с процессом выветривания и разрушения горных пород, залегающих на поверхности земли. Из продуктов разрушения создаются новые минералы, такие как глинистые: (каолинит – $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$, и монтмориллонит – $(\text{Al,Mg})_2(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$), железистые образования типа минерала лимонита – $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. В водной среде (моря, озера, реки, подземные воды) минералы являются результатом химических реакций между анионами и катионами. Так рождаются карбонаты (кальцит – CaCO_3), сульфаты (гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), галоиды (галит – NaCl) и другие.

Следует отметить, что в водной среде рождается также ряд минералов, связанных с процессом жизнедеятельности животных организмов. Это минералы опал – $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, кальцит – CaCO_3 , и др.

Всего в экзогенном процессе формируется около 1000 минералов и в отличие от эндогенных образований они отличаются большим разнообразием свойств, например, глинистые минералы, так как они алюмосиликаты, стойки к воде, кислотам, щелочам, а сульфаты и галоиды растворяются в воде, мягкие, карбонаты разрушаются в кислотах.

Метаморфический процесс. При формировании земной коры, в процессе накопления слоев осадочных пород, экзогенные минералы попадают на большую глубину и подвергаются воздействию давления и высоких температур. В этих новых для них термодинамических условиях они видоизменяются. Так рождаются метаморфические минералы, которые по свойствам плотные и прочные. Наиболее типичными представителями являются слюды (мусковит – $\text{KAl}_2(\text{OH})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{11}]$), асбест $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{11}](\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и другие. Всего в метаморфическом процессе в земной коре формируется около 500 минералов. Почти все они силикаты и алюмосиликаты, а это значит, что они стойки к процессу выветривания. Многие из них в связи с тем, что они формировались в процессе высоких давлений, имеют внешнюю форму листов (слюды) или нитей (асбест). Исключением является минерал кальцит, способный растворяться в воде и кислотах.

Структуры минералов. Большинство минералов имеют кристаллическое строение, но некоторые экзогенные минералы могут находиться в аморфном состоянии. В отличие от кристаллического аморфное состояние является неустойчивым и с течением времени переходит в кристаллическое состояние, например, минерал опал – $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Кристаллические минералы имеют

форму многогранников и анизотропные свойства, т.е. кристаллы в разных направлениях имеют разные свойства. Аморфные минералы кристаллическими решетками не обладают и свойства их изотропны, т.е. одинаковые во всех направлениях. На рис. 10. показаны кристалл кварца и аморфного опала.

Химический состав. Каждый минерал обладает своим химическим составом. Имеются минералы сходного химического состава, но они обязательно различаются по структурам.

Отдельные минералы имеют химический состав в виде одного химического элемента (сера – S, алмаз – C), но большинство минералов представляют собой комплекс элементов (кварц – SiO_2 , пирит – FeS_2). Только экзогенные минералы в своих кристаллических решетках могут содержать воду, как в молекулярном так и в гидроксильном виде, например, гипс - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, каолинит - $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$.

Химический состав минералов может выражаться в виде формул – эмпирических и структурных. Эмпирические формулы показывают из каких химических элементов состоит минерал и в каком количестве они представлены. Структурные формулы кроме химического состава отражают его внутреннее строение. Все это видно на примере каолинита: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – эмпирическая формула, а $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ – структурное выражение.

Физические свойства. Для каждого минерала характерны свои физические показатели такие как внешняя форма, оптические показатели (окраска, прозрачность, блеск), твердость, плотность. Кроме этого для отдельных минералов свойственны такие характеристики как вкус, запах, магнитность, радиоактивность, растворимость в воде или кислотах и т.д. Вот некоторые примеры: малахит – только зеленый, кальцит – растворим в соляной кислоте, галит (поваренная соль) – растворяется в воде, алмаз – исключительно прочный, слюда – имеет листоватое строение, асбест – волокнистое строение и т.д.

Таблица 2

Твердость минералов (шкала Мооса)

Эталонные минералы	Относительная твердость	Абсолютная твердость, МПа
Тальк – $\text{Mg}_3(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	1	24
Гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2	360
Кальцит – CaCO_3	3	1090
Флюорит – CaF_2	4	1890
Апатит – $\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl})[\text{PO}_4]_3$	5	5360
Ортоклаз – $\text{KAl}[\text{Si}_3\text{O}_8]$	6	7967
Кварц – SiO_2	7	11200
Топаз – $\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2[\text{SiO}_4]$	8	14270
Корунд – Al_2O_3	9	20600
Алмаз – C	10	100600

Таблица 3

Классы и типичные для них минералы

№ п/п	Классы	Минералы
1	Силикаты	Ортоклаз– $\text{KAl}[\text{Si}_3\text{O}_8]$
2	Карбонаты	Кальцит – CaCO_3
3	Оксиды	Кварц – SiO_2
4	Гидрооксиды	Опал – $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
5	Сульфиды	Пирит – FeS_2
6	Сульфаты	Гипс – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
7	Галоиды	Галит – NaCl
8	Фосфаты	Апатит – $\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl})[\text{PO}_4]_3$
9	Вольфраматы	Вольфрамит – $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$

10	Самородные элементы	Алмаз – С
----	---------------------	-----------

Горные породы широко используются в строительстве и важнейшими при этом для них показателями являются плотность и прочность (твердость), а это зависит от минералов, которые слагают данные породы.

Плотность наиболее распространенных алюмосиликатных минералов находится в пределах 2,5-3 г/см³. Твердость – это способность минералов противостоять внешним механическим воздействиям. Различают твердости: 1) относительную и 2) абсолютную. Относительная твердость показывает твердость минералов друг по отношению друга. Для определения такой твердости используется 10-балльная шкала твердости Мооса, состоящая из 10 эталонных минералов различной твердости. С помощью этих минералов путем царапания можно определить ориентировочную твердость других минералов. Абсолютная твердость определяется прибором склерометром, который дает значения в МПа. Все это показано в табл.2.

Классификация минералов основана на химическом составе. Все минералы сведены в 10 классов (табл. 3). Ниже дается краткая характеристика наиболее распространенных в земной коре классов.

Силикаты (80%) – наиболее многочисленный класс, включающий в себя до 800 минералов. Это алюмосиликаты, являющиеся основой магматических и метаморфических пород. В состав класса входят полевые шпаты, пироксены, амфиболы, слюды и другие.

Оксиды и гидроксиды (17%) объединяют до 200 минералов. На их долю приходится до 17% массы земной коры. Наибольшее распространение имеют кварц, опал и лимонит.

Карбонаты (1,7%). К ним относятся более 80 минералов, чаще всего встречаются кальцит, магнезит и доломит.

Сульфаты (0,1%) объединяют до 260 минералов. Среди них наибольшее значение имеют гипс и ангидрит.

Сульфиды (0,26%) насчитывают до 200 минералов. Типичным представителем является пирит.

Галоиды (менее 0,5%) содержат до 100 минералов. Наибольшее распространение получил галит (поваренная соль).

Другие классы минералов в земной коре занимают меньшее количество. В скобках показано содержание минералов каждого класса в земной коре. Из этих цифр видно, что земная кора в основном состоит из силикатов и алюмосиликатов, и частично из оксидов и карбонатов.

Радиоактивность минералов. 97 природных минералов обладают радиоактивностью за счет содержания в них радиоактивных химических элементов (U²³⁸, Th²³², Ra, K⁴⁰ и др). Из искусственно созданных в процессах ядерных реакций радиоактивных химических элементов отметим технеций, прометий и нептуний.

Минералы с содержанием радиоактивных элементов дают излучение, интенсивность которого зависит от вида и количества этих элементов. Это видно из следующих примеров:

- 1) минерал эшимит содержит Th²³² до 30% - малое излучение, а минерал пирохлор имеет U²³⁸ всего 17%, но дает большое излучение;
- 2) минерал уранинит содержит U²³⁸ до 30% - малое излучение, а торернит – до 60% - это уже большое излучение.

Радиоактивные минералы входят в состав горных пород. В силу этого некоторые горные породы обладают радиоактивностью. Сформировалась наука «Строительная радиэкология».

Искусственные минералы. Эти минералы появились в результате целенаправленной производственной деятельности человека. В настоящее время уже известно более 150 искусственно созданных минералов. Они создаются в двух направлениях: 1) как аналоги природных минералов и 2) как техногенные образования.

Аналоги – это искусственно полученные минералы, которые копируют природные минералы, такие как алмаз(С), корунд (Al₂O₃), кварц в виде горного хрусталя (SiO₂), барит (BaSO₄) и ряд других. Эти минералы в природных условиях встречаются редко, но они необходимы для хозяйства и поэтому их стали создавать искусственно. Минералы-аналоги, а их уже десятки наименований, в ряде случаев превосходят природные минералы по хорошей огранке и чистоте кристаллов. Искусственные алмаз и корунд по прочности выходит природного алмаза на 40%.

Техногенные минералы создаются в промышленных условиях. И представляют существенный интерес для дорожного строительства, т.к. входят в широко используемые дорожно-строительные материалы (вяжущие, шлаки и др.). В природных условиях такие минералы не образуются. Это минералы, из которых состоят цементы, огнеупоры, абразивы, керамика и т.д. Каждый минерал имеет строго определенные свойства. Так например: 1) вяжущими свойствами обладают алит ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) и белит ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), входящие в цементы, 2) огнеупорными являются муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$) и периклаз (MgO), 3) высокую прочность имеют карбид кремния (SiC) и т.д.

4.2. Горные породы

Горные породы представляют собой комплекс минералов, связанных в определенную структуру. Каждая горная порода характеризуется тремя особенностями: 1) постоянство структуры, химического и минерального состава, 2) свои свойства и 3) определенную форму залегания в земной коре.

Горные породы чаще всего сложены группой минералов (гранит, песок), но имеются горные породы в основе которых лежит один минерал (кварцит-кварц, мрамор-кальцит).

Химический состав пород оценивается валовым химическим анализом. Так например, химический состав базальта выглядит следующим образом: SiO_2 – 49-52%, Al_2O_3 – 10-14%, F_2O_3 – 4-14%, CaO – 8-10% и т.д.

Земная кора содержит около 1000 наименований горных пород. По происхождению их разделяют на три типа – магматические, осадочные и метаморфические. Первые два типа занимают 95% от общей массы земной коры и располагаются в основном в ее недрах. Осадочные породы покрывают поверхность земли, занимая до 75% площади суши.

Происхождение горных пород. На рис.11 показана схема происхождения горных пород в земной коре. Начало всем породам дает магма, из которой формируются магматические горные породы, а из этих пород в результате различных процессов рождаются осадочные и метаморфические породы.

Магматические горные породы

Тектонические движения нарушают земную кору, возникают трещины (разрывы, разломы), в которые устремляется магма. В одних случаях она застывает в недрах земной коры. Это приводит к образованию глубинных (интрузивных) магматических пород. В других случаях магма достигает поверхности Земли, где разливается покровами и потоками лавы. Из нее формируются излившиеся (эффузивные) породы (рис.12). Таким образом, из одной и той же магмы может образоваться два разных вида магматических пород.

Глубинные породы формируются в условиях высокого давления, медленного и равномерного остывания магмы, что в конечном итоге дает абсолютно плотные и полнокристаллические породы (граниты, габбро). При выходе магмы на поверхность Земли формирование пород происходит в иных условиях – низкие давления и температуры, быстрое остывание лавы. Масса практически не кристаллизуется. Поэтому в основе излившихся пород лежит аморфное стекло. За счет бурного выделения газов породы получают большую пористость (базальт, пемза) (рис.13).

Классификация магматических пород основана на их происхождении (глубинные и излившиеся) и на содержании в породах кремния (в% в пересчете на SiO_2). Это показано в табл.4. В состав магматических пород входит около 600 видов и разновидностей.

Таблица 4

Классификация магматических пород

Наименование групп пород по содержанию SiO_2 (%)	Основные виды пород	
	Глубинные	Излившиеся

Кислые – 75-65	Граниты	Липариты Обсидиан
Средние – 65-52	Сиениты Диориты	Трахиты Андезиты
Основные – 52-40	Габбро	Базальты Диабазы
Ультра основные – менее 40	Пироксениты Перидотиты	-

Разделение магматических пород по содержанию SiO_2 имеет практическое значение. Так с уменьшением количества SiO_2 в глубинных породах возрастает плотность, понижается температура плавления, окраска становится темнее (вплоть до черной).

Минеральный состав. В магматических породах место занимают минералы силикатного и алюмосиликатного состава. Это полевые шпаты, амфиболы, пироксены, кварц, слюды. В выветрелых породах присутствуют экзогенные минералы, как новообразования – глинистые, карбонатные, оксиды и др. Количество этих минералов определяет степень выветрелости пород, т.е. определяет их качество, как строительного материала.

Свойства магматических пород кроме химико-минерального состава зависят от их структур, текстур и трещиноватости.

Структура – это внутреннее строение пород, обусловленное формой, размерами и количественным соотношением их составных частей – минералами. Для глубинных пород характерны зернистые (кристаллические) структуры. Излившиеся породы имеют стекловатые структуры т.к. в их составе основное место занимает аморфное стекло, и полукристаллические структуры, когда в аморфном стекле содержится то или иное количество кристаллов. Такие структуры называют порфиоровыми (рис.14).

Текстура – это пространственное расположение частей породы, т.е. их расположение в массиве породы. В магматических породах различают текстуры: 1) массивные в которых наблюдается равномерное расположение частей, 2) полосчатые – в виде чередования разных частей и 3) шлаковые, когда породы содержат крупные пустоты. Массивные текстуры типичны глубинным породам, а все другие свойственны излившимся породам.

Трещиноватость. В магматических породах всегда имеются трещины. Наличие трещины существенно сказывается при разработке пород в карьерах, на их прочностных показателях. Трещины бывают двух видов: 1) закономерные и 2) случайные. Первые возникают в массивах глубинных пород при остывании магмы. Массивы пород разбиваются на отдельные блоки. Каждая порода имеет свою форму блоков – глыбовая форма типична гранитам, шаровая – диабазам, столбчатая – базальтам и т.д. Случайно расположенные трещины свойственны магматическим породам, которые на поверхности Земли подвергались воздействию процесса выветривания. Расположение таких трещин хаотичное.

Форма залегания магматических пород в земной коре. Глубинные породы располагаются в виде очень больших массивов (батолитов), которые занимают огромные площади и практически бездонны. Для излившихся пород свойственны формы покровов и потоков, которые покрывают толщи осадочных пород, имеют те или иные площади, ограниченные по мощности (от метров до десятков метров) (рис.15).

Свойства магматических пород. Все породы прочные, твердые, стойкие в процессах выветривания, являются надежным основанием автодорог и аэродромов и хорошим строительным материалом.

В России магматические породы на равнинах скрыты под толщами осадочных пород, широко распространены в горных районах (Урал, Кавказ, Карелия, Сибирь и т.д.).

Осадочные горные породы

Осадочные породы типичны поверхности Земли, составляют около 5% массы земной коры и занимают 75% земной суши. Таким образом, строительство автодорог и аэродромов осуществляется

в основном на осадочных породах. Эти породы изучает наука «литология». Поэтому при характеристике осадочных пород используется термин «литологический состав».

Образование осадочных пород. На земной поверхности все горные породы (магматические, метаморфические, в том числе осадочные) подвергаются постоянному разрушительному воздействию процессов выветривания. Разрушение приводит к образованию обломков или полному распаду минеральных тел вплоть до анионов и катионов. Продукты разрушения переносятся по поверхности Земли силой ветра и воды и в конечном итоге накапливаются в виде рыхлых осадков. Накопление осадков происходит на суше и в водной среде (морья, озера, реки).

Рыхлые осадки в течении миллионов лет (период диагенеза) превращаются в какие либо осадочные горные породы, которые уже имеют определенный химико-минеральный состав, структуры и свойства. Так на суше рождаются пески, глины, а в морях – известняки, мергели.

Мощность осадочного покрова весьма различна и колеблется в очень широких пределах. Породы которые образуются на суше имеют мощность от нескольких метров до десятков метров, в морских условиях осадочные толщи обладают мощностью нередко в сотни метров. Так например, в г. Ростове-на-Дону осадочная толща имеет мощность 400м, а в Донбасе - более 20 км. Под осадочным покровом залегает гранит.

Особенности осадочных пород. В отличии от магматических и метаморфических пород осадочные образования в силу своих специфических условий происхождения приобретают ряд особенностей. К таким особенностям относятся: 1) вещественный состав, 2) структуры, 3) пористость, 4) органический материал, 5) слоистость, 6) переменчивость свойств.

Вещественный состав. Осадочные породы могут состоять из обломков породы. Гравий и щебень состоят из обломков магматических или метаморфических пород. Другие породы (глина, песок) сложены минералами. Среди них основное место могут занимать первичные минералы (кварц, полевые шпаты и им подобные) и вторичные (кальцит, гипс, соли и др.), которые образовались в период существования пород. Во многих случаях эти вторичные минералы могут оказывать на свойства пород решающее значение.

Большинство осадочных пород сложены из большой группы минералов, например, песок – кварц, полевые шпаты, слюды, гипс и другие, в то время как другие породы почти полностью состоят из одного минерала: известняк – из кальцита, трепел – из опала, глина – из каолинита.

Химический состав пород определяется валовым химическим анализом, который показывает из каких химических элементов они состоят (в пересчете на окислы) и в каком количестве эти элементы содержатся (в%). Химический анализ, к примеру, глины выглядит следующим образом: 40% SiO₂, 15,5% Al₂O₃, 8,2% F₂O₃ и т.д.

Структуры осадочных пород весьма разнообразны. В целом они бывают обломочными и сцементированными.

Пористость. Все осадочные породы обладают пористостью, но величина и характер пористости бывают различными: 1) общий объем пор в песках около 40%, а в глинах – до 60% 2) величина пор – в глинах их невидно глазом, в известняках – ракушечниках хорошо различимы, 3) поры бывают открытыми, т.е. соединяются друг с другом, как в песке, и закрытыми, как в глине, где поры друг от друга изолированы. В порах осадочных пород могут находиться газ, вода и органический материал.

Органический материал. В осадочных породах органический материал присутствует в двух состояниях: 1) это частично перегнившие остатки растений, что типично для органо - минеральных осадочных пород, и 2) в виде гумуса, который представляет собой аморфные продукты разложения растений. Гумус чаще всего содержится в порах пород, окрашивает чернозем в черный цвет.

Слоистость. Осадочные породы залегают в земной коре в виде слоев, которые образуются в процессе периодического накопления осадков, впоследствии превращающихся в породы. Такое слоистое залегание наблюдается только в осадочных породах.

При характеристике слоистости следует различать следующие понятия: 1) элементы и формы слоев, 2) пласты, 3) толщи, 4) сочетание слоев и 5) складки.

Элементы слоев. На рис.16 показан слой осадочной породы. Поверхность слоя называется кровлей, нижняя – ложем (подошвой), расстояние между ними – это мощность слоя, которая бывает

очень разной – от нескольких сантиметров до десятков метров, что типично слоям морского происхождения мощность слоев, образовавшихся на суше, обычно наибольшая.

Форму слоев можно определить по их вертикальному разрезу. Конфигурация слоев бывает нормальная, линзовидная и выклинивающаяся. Все это видно на рис.16 форма слоев связана с условиями накопления рыхлых осадков.

Пластами называют мощные слои, которые резко отличаются по литологическому составу от слоев, лежащих над кровлей и под ложем. Пласты обычно занимают большие площади. В качестве примера можно привести пласты каменного угля над которыми и под которыми лежат слои пустых (не угольных) слоев.

Толщи – это группа слоев однотипного литологического состава. В качестве примера можно привести толщи лессовых пород, которые состоят из различных по литологии слоев суглинков (легких, средних, тяжелых) при общей мощности толщ в 20-30 м.

Сочетание слоев. Первоначально слои залегают горизонтально, но в какой отрезок времени тектонические движения земной коры нарушают их горизонтальность. В последующее время уже новые слои осадочных пород ложатся на них тоже горизонтально. Толщи слоев осадочных пород могут лежать друг по отношению друга согласно или несогласно (рис.17).

Складки. После мощных тектонических движений слои земной коры утрачивают горизонтальное положение и приобретают иную форму и положение в пространстве. Так возникают складки, которые принято разделять на два вида: 1) складки без разрыва слоев и 2) складки с разрывами слоев. На рис.18 показаны некоторые виды складок: 1) без разрыва слоев – моноклинальные (в виде наклона слоев), антиклинальные (с изгибом вверх) и синклинальные (с изгибом вниз) и 2) с разрывом слоев – взбросы и сбросы (с разрывом по одной плоскости), грабены и горсты (с разрывом в двух и более плоскостях).

Форма залегания слоев имеет практическое значение. Наиболее благоприятными условиями для строительства автодорог и аэродромов является горизонтальное положение слоев. Залегание слоев в виде складок существенно осложняет проектирование объектов, т.к., например, земляное полотно дороги может лежать на разных осадочных породах с разными свойствами, по линиям разрывов земной коры во время землетрясений происходит смещение пород, по разрывом обычно циркулируют подземные воды.

Изменчивость свойств пород во времени. На свойства осадочных пород существенное влияние оказывают смена температур и вода. Многие породы даже в течение короткого времени могут изменять свои свойства. В качестве примера приведем глину, которая может иметь совершенно разные свойства, когда она сухая или мокрая. Это обстоятельство имеет важное значение при оценке строительных свойств осадочных пород.

Классификация осадочных пород основана на их происхождении. Они разделяются на три типа – обломочные, хемогенные и органогенные. Кроме этого их еще делят на два вида по месту образования – на континентальные и морские. Этим подчеркивается, что породы образующиеся на суше очень разнообразны по литологическим составам, обычно занимают малые площади, маломощны. Осадочные породы морского происхождения всегда занимают значительные площади, большой мощности, однотипны по литологии (известняки, мергели, гипсы и др.). Породы морского происхождения в инженерной геологии называют «коренными породами», т.к. они массивные, прочные, стойкие во времени.

Обломочные породы. Это смесь обломков различных горных пород (магматических, метаморфических песчаников, известняков) и частиц минералов, образовавшихся в процессе физического выветривания пород. В основе классификации обломочных пород лежат: 1) размер обломков, 2) форма обломков, 3) рыхлость и сцементированность обломочной массы.

Таблица 5

Классификация обломочных пород

Название, размер обломков, мм	Рыхлые породы		Сцементированные породы
	угловатые	окатанные	
Грубые >200	Глыбы	Валуны	Брекчии (из угловатых обломков),

200-40 40-2	Щебень Дресва	Галечник Гравий	Конгломераты (из окатанных обломков)
Песчаные 2-0,05	Пески	–	Песчаники
Пылеватые 0,05-0,005	Суглинки	–	Алевролиты
Глинистые <0,005	Глины	–	Аргиллиты

К таблице 5 следует сделать некоторое уточнение. Глинистые частицы к понятию «обломки» отнесены условно, т.к. их происхождение больше связано не с физическим, а с химическим процессом выветривания. Первоначально обломками именуют угловатую форму, например, щебень. Окатанная (округлая) форма обломков является результатом переноса водой (гравий, галечник). Окатанности подвергаются обломки размером более 2мм.

В природных условиях массы обломков всегда сложены из обломков разного размера. Наименования породам даются по обломкам, которых в массе более 50% места.

Грубообломочные породы (щебень, гравий и др.) чаще всего залегают в горных районах, речных долинах, на морских побережьях, в районах ледниковых отложений.

Песчаные породы встречаются повсеместно. Глинистые образования практически покрывают всю поверхность суши (кроме гор) и составляют около 50% общего объема осадочных пород.

Свойства рыхлых обломочных пород очень разнообразны и зависят: 1) от размеров и формы обломков, 2) петрографического состава обломков пород и минерального состава частиц.

Свойства сцементированных пород (песчаников, конгломератов и брекчий) кроме петрографического состава обломков в немалой степени зависят от вида их цементирующего минерального вещества. «Цементами» может быть силикатный, железистый, карбонатный и глинистый материал. Наибольшую прочность и водостойкость породам придает силикатный материал, а наименьшую глинистый «цемент». Песчаники с силикатными цементами по физико-механическим показателям сходны со скальными породами. На рис.19 показана сцементированная обломочная порода конгломерат.

Сцементированными породами являются так же алевролиты и аргиллиты. Алевролиты – это скрепленные природными цементами пылеватые частицы, а аргиллиты представляют собой уплотнившиеся, окаменевшие глины, которые на воздухе легко разрушаются.

К обломочным породам относят также пирокластические образования. Это продукты вулканических извержений в виде песчаных и пылеватых частиц, состоящих из вулканического стекла. В общем виде эта масса частиц именуется «вулканическим пеплом». Отложения пепла вначале создают рыхлые наносы, из которых впоследствии формируются вулканические туфы.

Обломочные породы в дорожном строительстве широко используются, как природный строительный материал и в качестве сырья для изготовления технических каменных материалов.

Хемогенные породы. Эти породы являются результатом выпадения из водных растворов (морей, озер, подземных вод и т.д.) химических осадков в виде минералов. Осадки постепенно накапливаются на дне водоемов и в конечном итоге в процессе диагенеза превращаются в хемогенные породы. Типично хемогенными являются породы карбонатные, сульфатные и галоидные.

Карбонатные породы представляют собой известково-глинистые образования, т.е. практически они состоят из смеси кальцита и глинистых минералов. Это видно из данных таблицы 6.

Таблица 6

Карбонатные осадочные породы

№ п/п	Породы	Содержание кальцита, %	Содержание глинистых частиц
1.	Известняки	75-100	Мало, больше кальцита
2.	Мергели	50-75	Много, кальцита меньше

3.	Глины карбонатные	до 50	Очень много, кальцита мало
----	-------------------	-------	----------------------------

Среди хемогенных пород наибольшее распространение имеют известняки и мергели, залегающие мощными толщами на обширных пространствах. Известняки сложены кальцитом с примесью глинистых частиц, кремнезема, окислов железа. Для них характерны плотные структуры. Мергели имеют так же плотное сложение, но в их состав кроме кальцита входит много глинистых частиц. Мергели являются основным сырьем для производства портландцемента. К хемогенным породам относятся так же доломиты. В их состав входят кальцит (более 50%), магнезит (до 40%) и примеси глинистых частиц.

Сульфатные породы представлены различными образованиями, но основное место занимает гипс. Образование его связано с мелководными бассейнами. Галоидные породы (соли) формируются примерно в тех же условиях, что и гипс. Гипсы, как и соли, всегда в своих слоях содержат примесь глинистых минералов.

Органогенные породы. Эти породы образуются в результате накопления в водной среде, на дне водоемов, остатков животного мира и растений. Остатки в течение длительного времени накапливаются проходят период диагенеза и из них формируются органогенные породы.

Органогенные породы разделяются по минеральному и химическому составам: 1) карбонатные (известняк – ракушечник, мел), 2) кремнистые (диатомит, трепел, опока) и 3) углеродистые (торф, угли, горючие сланцы).

Карбонатные породы. Органогенные известняки слагаются из крупных раковин (размером более 1-2 см). Поэтому их называются «ракушечниками». Известняки-ракушечники отличаются большой пористостью, даже пустотностью, но в отдельных случаях бывают достаточно плотные. Они залегают в виде пластов и широко распространены на территории Северного Кавказа, Нижнего Дона, Урала.

Одной из разновидностей органогенных известняков является мел, образование которого связано с осаждением на дно морей тонкого (0,001-0,005мм) карбонатного материала, представляющего собой скелеты микроскопических организмов.

Кремнистые породы (диатомиты, трепелы, опоки) образуются при одновременном действии химических процессов и накопления органических остатков. Диатомит – это слабо сцементированная порода, состоящая из микроскопических кремнистых скелетов диатомовых водорослей, радиолярий и губок с примесью глинистого материала. Трепел сходен с диатомитом и состоит из минерала опала (размером менее 0,005 мм) с примесью глинистого материала и окислов железа. Диатомиты и трепелы залегают слоями. Опоки образуются путем цементации кремнистым веществом трепелов и залегают в виде пластов. Опоки внешне похожи на мергель. Все породы обладают большой пористостью.

Углеродистые породы – (торф, угли – бурые и каменные, горючие сланцы). Общей их характерной чертой является горючесть, что обусловлено большим содержанием свободного углерода или смесей углеводорода. Особо следует отметить асфальты (горные смолы). Это битуминозные породы; залегают создавая асфальтовые озера, натеки и покровы, крупные месторождения. Асфальты нашли широкое применение в дорожном строительстве.

Метаморфические горные породы

Метаморфические горные породы образуются из осадочных и магматических пород под действием больших давлений и высоких температур, которые свойственны земной коре. Ведущую роль в этих процессах играют тектонические движения. Слово метаморфизм обозначает «превращение». В процессе метаморфизма в осадочных и магматических породах изменяются структуры, минеральный состав и в конечном итоге образуются совершенно новые породы – метаморфические.

Процесс метаморфизации осадочных и магматических пород начинает себя проявлять с глубины, примерно, 1 км. В процессе метаморфизма образуется большое количество разных пород, из каждой осадочной и магматической породы, которая подвергается метаморфизму, образуется вполне определенная метаморфическая порода. Например, из песка (песчаника) может возникнуть только кварцит, из известняка – мрамор, из гранита – гнейс и т.д. (рис.20 и 21).

Различают три вида метаморфического процесса: 1) контактный, 2) динамометаморфизм и 3) региональный. Каждый вид связан с определенными факторами метаморфизма.

Контактный метаморфизм. Преобразование пород происходит при их соприкосновении с магмой, которая внедрилась в земную кору. Главными факторами при этом являются высокие температуры, воздействия газов и горячих растворов. В этом процессе рождаются породы с зернистой структурой типа мраморов и кварцитов.

Динамометаморфизм. В данном виде метаморфизма основным фактором является большое давление. Это бывает при горообразовании или в силу давления, которое возникает в глубине земной коры под весом вышележащих толщ осадочных пород. Динамометаморфизм порождает породы сланцеватых текстур, примером могут быть глинистые сланцы.

Региональный метаморфизм проявляется на больших площадях и глубинах земной коры. Особенно интенсивно он проходит на глубинах более 6-8 км, где развиты очень большие давления. Эти глубины земной коры называют «зоной метаморфизма». В таблице 7 показано, что происходит с некоторыми породами по мере их погружения в глубину, в зону метаморфизма, и какие при этом образуются метаморфические породы.

Таблица 7

Изменение пород в зоне метаморфизма

Породы	Зона метаморфизма		
	Глубина 5 км, давление 100 МПа - эпизона	Глубина 10 км, давление 280 МПа - мезозона	Глубина 25 км, давление 500 МПа - катазона
Песок	Кварцит	Кварцит сланцевый	Кварцит перекристаллизованный
Глина	Филлит	Сланец кристаллический	Гнейс
Известняк	Мрамор м/з	Мрамор ср/з	Мрамор кр/з
Гранит	-	-	Гнейс

Метаморфические породы располагаются в основном в горных районах, где они поднялись на поверхность Земли в процессе тектонических движений. Форма их залегания практически соответствует форме залегания пород, из которых они образовались.

Минералогический состав метаморфических пород близок к магматическим породам – кварц, слюды, тальк, хлорит и др. Структура во всех случаях кристаллическая. Текстуры в целом представлены двумя видами: 1) зернистые (массивные), типичные для мраморов и кварцитов и 2) сланцеватые, что выражается в параллельном расположении чешуйчатых, волокнистых и пластинчатых форм минералов (это типично для динамометаморфизма).

Классификация метаморфических пород основана на структурно - текстурных характеристиках. Все породы разделяются: 1) на массивные (зернистые) – кварциты, мраморы и 2) сланцеватые – сланцы и гнейс.

Следует отметить одну особенность метаморфических пород. Мраморы сложены из кальцита, в то время как все остальные породы состоят из минералов силикатов и алюмосиликатов. Мрамор хрупок, состоит из кальцита, который водо- и кислотонеустойчив. Кварцит представляет собой исключительно прочную и стойкую к выветриванию породу. Очень многообразны по минеральному составу сланцы. Они бывают слюдяные, тальковые, глинистые, хлоритовые и т.д. Гнейс является конечным продуктом метаморфических преобразований гранитов.

В горных районах метаморфические породы служат хорошим основанием для автодорог и могут быть строительными камнями. Сланцы используются преимущественно, как сырьевой материал (сланцеватые сланцы – слюда, тальковые сланцы – тальк и т.д.).

4.3 Техническая петрография

Техническая петрография является, в определенной степени, разделом геологической науки «петрография» и представляет собой учение о искусственно создаваемых технических каменных материалах (цементы, огнеупоры, керамика, и т.д.). При решении дорожно-строительных задач эти материалы имеют такое же значение, как горные породы.

Технические каменные материалы создаются в промышленных условиях и во многом аналогичны природным горным породам. Это вытекает прежде всего из сходности процессов их образования: 1) кирпич шамот, огнеупорный динас, цементный клинкер, керамика создаются примерно в таких же термодинамических условиях, как метаморфические породы; 2) доменные шлаки, стекла, абразивный корунд, глиноземистый цемент – как излившиеся магматические породы; 3) бетон, силикатный кирпич по способу образования приближаются к сцементированным осадочным породам типа конгломерата.

Химический состав технических каменных материалов имеет свои особенности: 1) химический состав, как и для горных пород, оценивается валовым химическим анализом и выражается в виде окислов (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 и т.д.), количество которых показывается в процентах; 2) в составе материалов присутствует большое количество химических элементов - SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , BaO , MnO , PbO , SO_3 , но практически преобладают SiO_2 , и $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$, исключение составляет лишь корундовые (Al_2O_3), и магнезитовые (MgO) материалы; 3) в отличие от горных пород в технических материалах в ряде случаев имеют место необычные сочетания химических элементов, так например, в шамотном кирпиче SiO_2 с Al_2O_3 , в доменных шлаках – CaO с Al_2O_3 и SiO_2 ; 4) в технических каменных материалах всегда отсутствует вода.

Минеральный состав. Основную массу каменных материалов составляют искусственные минералы. Так, например, в портландцемент входят алит, белит, целит, а фарфор состоит из муллита. Кроме искусственных всегда содержится примесь природных минералов. Чем больше присутствует примесей, тем хуже качество материала. К таким минералам – примесям относятся кварц, полевые шпаты и др.

Минеральный состав и структуры технических каменных материалов показан в табл.8. Структуры бывают: 1) кристаллические, зернистые, плотные, как в абразивах и фарфоре; 2) стекловатые (стекла), 3) пористые (керамика, шлаки) и 4) смешанные, где в стекловатой массе располагаются какие либо кристаллы минералов.

Свойства технических материалов перечислены в таблице 8. Каждый технический материал создается с наперед заданными свойствами, т.е. каждый материал обладает своими свойствами: цементы – вяжущие; абразивы – стойкость к истиранию; стекло – прозрачность; огнеупоры противостоят высоким температурам и т.д.

Таблица 8
Технические каменные материалы

Группы материалов по свойствам	Материалы	Основные минералы	Структуры материалов
Вяжущие вещества	Портландцемент	Алит, белит, примесь периклаза	Кристаллическая зернистая Перматитовая
	Глиноземистый цемент	Моноалюминат кальция, пятикальциевый трехалюминат, примесь геленита, перовскита	
Шлаки	Металлургические (доменные)	Окорманит, геленит, частично аморфное стекло	Мелкозернистая Пористая, рыхлая
	Зольные	Аморфное стекло, магнетит, анортит	
Керамика	Фарфор	Аморфное стекло, примесь муллита	Стекловатая, микропористая
Абразивы	Нормальный электрокорунд	Корунд, гексаалюминат кальция, муллит, анортит, шпинель	Зернистая
Огнеупоры	Динас	Тридимит, аморфное стекло, примесь кристобалита, кварца и псевдоволластонита	Брекчеевидная Зернистая
	Шамот	Муллит, аморфное стекло из кремнезема	

Магнезиальные огнеупоры	Периклаз, частично монтичеллит	Брекчеевидная
Доломитовые огнеупоры	Периклаз, частично алит, белит, браунмиллерит	Зернистая слабо пористая
Корундовые огнеупоры	Корунд, муллит, аморфное стекло	Брекчиевидная

Петрургия. В области технических материалов создана новая отрасль – петрургия или каменное литье. Суть этого производства заключается в следующем. Берут базальт, измельчают, вводят необходимые добавки. После этого всю массу расплавляют в электропечах при температуре 1400-1500°. Далее расплав разливают в специальные формы, которые отвечают конфигурациям каких – либо строительных изделий (трубы, плитки, балки и т.д.), и дают ему возможность постепенно остывать. В процессе остывания масса раскристаллизовывается. Каменнолитейные изделия имеют заданную форму, высокие строительные качества – плотные, прочные, стойкие в любых агрессивных средах, обладают большим сопротивлением истиранию. Дальнейшее развитие петрургии позволит продукцию более активно использовать в дорожном и аэродромном строительстве, особенно в тех случаях, когда появляется необходимость применять особо высоко прочные и стойкие к агрессивным средам материалы.

Радиоактивность технических каменных материалов связана с присутствием в них природных или искусственно созданных (техногенных) радиоактивных химических элементов. Все эти элементы попадают в технические материалы с сырьем, из которых они изготавливаются. В качестве примера можно привести радиоактивный щебень из гранита или золы – уноса электростанций, которые используют каменные угли.

В настоящее время все технические материалы, как и сырье, из которых они создаются, должны обязательно проходить контроль на радиоактивность, где определяется степень их пригодности для использования в дорожном строительстве, где широко используется гранитный щебень и различные отходы промышленности.

Глава 5 Геохронология земной коры

Историю и закономерности образования и развития земной коры изучает геологическая наука историческая геология. Для восстановления истории земной коры используют геологические «документы» в виде толщ осадочных пород, которые характером своих слоев, содержанием в них остатков растительных и животных организмов свидетельствуют об этапах развития земной коры.

С того времени, когда на Земле появились вода и атмосфера начали образовываться слои осадочных пород, т.е. начала формироваться земная кора, пошел отсчет геологического времени на Земле. Каждый слой земной коры был изучен и получил свою возрастную оценку в виде абсолютного и относительного возраста.

Абсолютный возраст выражается в годах с момента образования данного слоя горной породы. Для его определения используют радиоактивные превращения в некоторых химических элементах (уран, калий и др.), входящих в состав пород. Это позволяет устанавливать возраст в одних случаях в миллионах лет, в других более короткие отрезки времени. Абсолютные значения возраста слоев земной коры приведены в табл. 108.

Относительный возраст - это возраст горных пород относительно друг друга, т.е. какие породы древнее, а какие образовались позже. Для этого используют два метода: стратиграфический и палеонтологический.

Стратиграфический метод применяют для толщ, в которых слои пород залегают горизонтально. При этом считается, что чем слой лежит над другими слоями выше, тем он моложе.

Палеонтологический метод является основным при определении относительного возраста слоев. В основу метода положена развитие органической жизни на Земле во время геологической истории земной коры. Животные и растительные организмы развивались постепенно, от простых видов к сложным организмам. Остатки организмов (кости, раковины, пыльца растений и т.д.) после

отмирания захоранивались в слоях пород, которые формировались в этот отрезок времени. Зная период жизни вымершего организма по его остаткам можно определить относительный возраст слоя, в котором он обнаружен (рис.22).

Геохронологическая шкала геологического времени. В настоящее время установлен относительный возраст каждого слоя горных пород в земной коре. На базе этого была создана геохронологическая шкала геологического времени земной коры (табл.9). Все геологическое время разделили на отдельные по длительности отрезки времени. В течение каждого такого отрезка времени формировались определенные слои осадочных пород. Ниже показываюся наименования отрезков геологического времени и наименования, толщ горных пород, которые образовались в период этих отрезков времени (стратиграфическое деление):

Геохронологическое время		Стратиграфическое деление толщ горных пород
Эон	-	Эонотема
Эра	-	Эратема
Период	-	Система
Эпоха	-	Отдел
Век	-	Ярус

Самый длительный отрезок геологического времени называют эон. Толщу осадочных пород, которая образовалась за это время называют эонотемой. Самый короткий геологический отрезок времени – век, а толща пород - ярус (табл.9). Каждый геологический отрезок времени получил наименование и обозначение в виде индексов, а на геологической карте свою окраску. Так современный период времени называют четвертичным, а его индекс – Q и на геологической карте он имеет желтовато-серый цвет. Самый древний период имеет название кембрийский - Є

Периоды делятся на эпохи, например, триасовый период разделяют на нижнюю (Т₁), среднюю (Т₂) и верхнюю (Т₃). Эпохи обозначают арабскими цифрами. Эпохи в свою очередь делятся на века, например, K₂^{dat}, что читается, как датский век верхнемеловой эпохи.

Современный четвертичный период (Q) разделяют не на эпохи, а на отделы с обозначениями римскими цифрами: Q_I (эоплейстоцен), Q_{II} (плейстоцен), Q_{III} (голоцен) и Q_{IV} (современный). К индексу четвертичного периода добавляют буквы, обозначающие генезис пород, например, а в Q_{III} - аллювиального (речного) генезиса еоI Q_{II} – золотого (ветрового), m Q_I – морского происхождения.

Табл.9.

Геохронологическая шкала земной коры

Геологическое время Земли	Эоны (зонотемы)	Эры (эратемы)	Периоды (системы)	Индексы периодов	Основные представители животного мира	Абсолютный возраст млн. лет	Окраска периодов на геологических картах	
	Неохрон (фанерозой)	Кайнозойская, Kz	Четвертичный (антропоген) Неогеновый Палеогеновый	Q	Человек, млекопитающие		около 1,8	Желтовато-серый
				N			около 90	Лимонно-желтый
				P			Ярко-желтый	
		Мезозойская Mz	Меловой Юрский Триасовский	K	Пресмыкающиеся, моллюски		около 570	Салатно-зеленый
				J				Синий
				T				Сиреневый
		Палеозойская, Pz	Пермский Каменноугольный Девонский Силурийский Ордовикский Кембрийский	P	Амфибии, рыбы, первые беспозвоночные, зарождение жизни на Земле		около 2500	Оранжево-коричневый
				C				Серый
				D				Коричневый
S				Зеленовато-коричневый				
O	Темно – зеленый							
Є	Голубовато - зеленый							
Палеохрон (криптозой)	Докембрий	–	–	–	–	Малиново - розовый		
Планетарная стадия Земли								

Значение геохронологии земной коры. Установление возраста горных пород позволяет, определять их положение среди других, в определенной степени отражают свойства пород. Возрастные индексы обязательно фигурируют на всех геологических картах и разрезах. Каждый индекс является визитной карточкой слоя и его горной породы.

Глава 6 Рельеф земной поверхности

6.1 Общие положения

Рельеф – это совокупность всех форм земной поверхности – возвышенностей, равнин и углублений. Рельеф находит свое отражение на топографических картах. Этим вопросом занимается наука геодезия.

Рельеф Земли динамичен, его неровности находятся в состоянии непрерывного изменения и превращения. В процессе этих изменений возникают новые формы рельефа. Процесс изменения рельефа Земли является результатом взаимодействия внутренних (эндогенных) и внешних (экзогенных) сил земной коры. Наука, которая занимается изучением рельефа Земли, происхождением его форм и их изменением во времени называется «геоморфология».

Геоморфология совместно с геологией и географией составляет единый цикл естественных наук о Земле. В настоящее время геоморфология очень тесно взаимодействует с инженерной геологией, совместно изучают рельеф Земли, как объект для строительства. В связи с этим уже в самой геоморфологии сформировалась отрасль «инженерная геоморфология», анализирует рельеф Земли, определяет устойчивость и динамичность рельефа, создает прогнозы его изменения на период эксплуатации дорожных объектов.

В сфере строительства и эксплуатации автодорог и аэродромов рельеф играет исключительно важную роль. От рельефа зависит выбор мест трассы дороги и аэродрома. Рельеф должен удовлетворять главному требованию к выбору трассы дороги – кратчайшему расстоянию между намеченными пунктами.

Динамика рельефа. Рельеф по своей сути динамичен, т.е. находится во времени в состоянии непрерывного изменения. Это связано с тем, что эндогенные процессы (тектонические, вулканические и др.) непрерывно создают какие новые Земли, а экзогенные силы (ветер, текучая вода, техногенная деятельность человека и т.д.) стремятся сnivelировать поверхность Земли, но в тоже время сами создают другие формы рельефа (овраги, речные долины, ущелья и т.д.). Следует отметить, что крупные формы рельефа могут длительно сохраняться, например, равнины, речные долины и т.д.

Элементы форм рельефа. Каждая форма содержит три элемента – поверхность, линию и точку. Поверхности ограждают форму, например, гора имеет склоны, т.е. поверхности. Линии это пересечение поверхностей. Линии бывают водораздельные, подошвенные, водосливные, бровка. Водораздельная линия разделяет сток поверхностных вод в стороны понижения рельефа. Водосливная линия является результатом пересечения двух поверхностей и проходит, например, по дну оврагов и речных долин. Подошвенные линии располагаются в основания склонов, где плоскости склонов пересекаются с горизонтальными плоскостями. Бровка – это линия характеризующая резкий перегиб склона с переходом в горизонтальную плоскость. Точка рельефа – это пересечение линий, например, вершина горы.

6.2 Характеристика форм рельефа

Формы рельефа характеризуются по происхождению, отношению к поверхности земли, замкнутости и размерам.

Происхождение форм рельефа обуславливается в основном двумя факторами – природой и техногенной деятельностью человека. Таким образом все формы рельефа земли разделяются на природные и антропогенные.

Природные формы рельефа рождаются в результате трех процессов: 1) движения земной коры, 2) разрушающей эрозионной и абразивной деятельностью гидросферы и 3) в результате накопления (аккумуляции) осадков на поверхности земли. Эти процессы создают следующие формы

рельефа: 1) тектонические – горные хребты, равнины, океанические впадины, которые достаточно стабильны и нарушаются в тектонических процессах и при сейсмических явлениях; 2) эрозионные – формируются в результате размывающей деятельности поверхностных вод (овраги, речные долины); эти формы рельефа нестабильны и быстро изменяются во времени; 3) аккумулятивные – рельеф создается в результате накопления осадков, как намывные водой (речные отложения, дельты рек, конусы выноса селей и т.д.), так и навешанные ветром (барханы пустынь, дюны побережий морей и др.); формы весьма не стабильны, довольно быстро изменяются во времени.

Антропогенные формы рельефа. На современном этапе истории Земли рельеф стал интенсивно изменяться за счет техногенной деятельности человека. Возникают формы рельефа, которые природа не создает. Они образуются в результате работы горно – промышленных предприятий, инженерно – строительной деятельности, военных действий, при освоении земель под сельское хозяйство. К антропогенным формам рельефа относятся спланированная земля при сельскохозяйственных и строительных работах, терриконы из пустых пород при разработке шахт, отвалы земли при выработке карьеров, выемки и насыпи при дорожном строительстве (рис.23). Антропогенные формы по времени бывают относительно стабильными, например, дорожные насыпи и выемки, но в большинстве случаев являются все же временными. В качестве примера можно привести придорожные карьеры, предназначенные для отсыпки насыпей. По окончании строительных работ эти формы рельефа перестают существовать за счет планировки земли.

По отношению к поверхности земли формы рельефа разделяются на положительные, которые возвышаются над землей, и отрицательные, т.е. в виде углублений.

К положительным формам рельефа относятся:

1) Нагорье – обширная возвышенность, состоящая из системы горных хребтов и вершин (например Памир), 2) Горный кряж – невысокий горный хребет с пологими склонами и с плоской вершиной (например, Донецкий кряж), 3) Горный хребет – вытянутая возвышенность с относительной высотой более 200 м и с крутыми склонами; 4) Гора – изолированная возвышенность с крутыми склонами, высотой более 200 м; 5) Плоскогорье – нагорная равнина, обширная по площади, с плоскими вершинами; 6) Плато – приподнятая равнина, ограниченная хорошо выраженными, нередко обрывистыми склонами; 7) Гряда – узкая вытянутая возвышенность с крутизной склонов более 20° и плоскими вершинами; 8) Увал – вытянутая возвышенность большой длины, с пологими склонами и плоскими вершинами; 9) Холм – обособленная куполообразная или коническая возвышенность с пологими склонами и высотой менее 200 м; 10) Курган – искусственно созданный холм; 11) Бугор – изолированная куполообразная возвышенность с резко выраженной подошвенной литией при крутизне склонов не более 25° и плоскими вершинами; 12) Конус выноса – невысокая возвышенность земли в устье водотоков например, рек, оврагов и т.д.

Отрицательными формами являются:

1) Котловина – понижение значительной глубины крутыми склонами; неглубокие понижения с пологими склонами называют впадиной. 2) Долина – вытянутое углубление, имеющее уклон в одном направлении со склонами различной крутизны и формы; 3) Балка – вытянутое углубление значительной длины, с трех сторон имеющая задернованные пологие склоны; 4) Овраг – вытянутое углубление с крутыми и местами отвесными склонами; 5) Промоина – небольшое вытянутое мелкое углубление, имеющее с трех сторон крутые и незадернованные склоны.

Формы рельефа по замкнутости в пространстве разделяются на открытые (овраг, выемка) и замкнутые (гора, насыпь). По размерам формы рельефа принято делить на семь видов: мельчайшие, очень мелкие, мелкие, средние, крупные, крупнейшие и величайшие.

Мельчайшие формы – размер в сантиметрах (песчаная рябь, борозды на полях и т.п.). На топографические карты эти формы не наносят. Очень мелкие формы – размер от десятков сантиметров до 1-2м (кочки, рывины, мелкие промоины). На картах крупных масштабов их обозначают условными знаками. Мелкие формы иногда называют микрорельефом. Эти формы занимают небольшие участки (несколько квадратных метров и иногда больше) при высоте в несколько метров. Эти формы находят отражение на картах масштабов 1:10000, 1:5000 и крупнее. Средние формы (мезорельеф) разделяют на положительные и отрицательные формы. К положительным формам относятся – холмы, бугры, курганы, гребни, уступы, террасы долин рек,

берегов морей и озер. В плане занимают сотни, тысячи и больше квадратных метров. Многие из них имеют большую протяженность. Отрицательные формы – овраги, балки, карстовые воронки, ложбины. Мезорельеф четко изображается на топографических (геоморфологических) картах масштаба 1:50000 и играет важную роль при проектировании дорог и аэродромов. Крупные формы (макрорельеф) – в плане занимают десятки, сотни и реже больше квадратных километров с расчленением по глубине на 200-2000 м. Такой рельеф отражается на картах 1:100000 и 1:1000000. Положительные формы – горные хребты, отдельные горы, горные массивы; отрицательные – большие долины, озерные впадины типа Ладожского и Онежского озер. Рельеф такого вида позволяет оценивать целые территории при планировании размещения строительных объектов. Крупнейшие формы рельефа (мегарельеф) занимают десятки и сотни квадратных километров. Это крупные возвышенности, котлованы. Разница в отметках может достигать 500-4000 м. В связи с крупностью такие формы можно отображать на картах масштаба не менее 1:1000000. Величайшие (планетарные) формы – по площади это миллионы квадратных километров, разница в отметках составляет 2500-6500 м, максимальная – 20000 м. Положительные формы – материки, а отрицательные – океанические впадины. Масштабы топографических карт весьма различны и в дорожном строительстве используются в зависимости от этапов проектирования. В одних случаях бывают нужны карты мелкого масштаба, а в других – крупного. Это могут быть карты от 1:2000 до 1:1000000. Крупные формы рельефа на картах отражаются горизонталями, а мелкие – условными (типовыми) знаками.

6.3 Типы рельефов

Это сочетание однотипных форм рельефа, закономерно повторяющихся на больших площадях, имеющих сходное происхождение и историю развития. Существуют три типа рельефов – равнинный, горный и холмистый.

Равнинный рельеф – это обширные участки суши с ровной, слабоволнистой и однообразной поверхностью. Равнины различают по происхождению и по положению поверхности земли по отношению к уровню моря (рис.24). По происхождению равнины бывают: 1) структурные – это территории, на которых слои осадочных пород располагается горизонтально; 2) аккумулятивные – небольшие территории, образовавшиеся в результате формирования осадочных слоев вследствие речного намыва или привноса песчано – пылеватого материала ветром; 3) скульптурные – территории со следами разрушения поверхности земли процессами эрозии. По отношению к уровню моря, т.е. высотному положению поверхности равнины бывают: 1) отрицательные – ниже уровня моря, 2) низменные – не выше 200 м над уровнем моря, 3) возвышенные – на высоте от 200 до 500 м и 4) нагорные выше 500 м над уровнем моря.

Для решения вопросов проектирования автодорог и аэродромов важное значение имеет расчлененность поверхности равнин. По глубине и степени расчленения равнины различают: 1) слаборасчлененные (колебания высот до 10 м на протяжении 2 км), 2) мелкорасчлененные (колебания высот от 5 до 25 м на протяжении 2км) и 3) сильнорасчлененные (колебания высот от 25 до 200 м на протяжении 2 км).

Горный рельеф – это местность, возвышающаяся над уровнем моря более чем на 500 м и содержащая систему горных цепей, состоящих их отдельных хребтов и их отрогов, продольные и поперечные долины, ущелья (рис.25). Горы различают по происхождению и высотам. По происхождению горы принято разделять на тектонические, вулканические и эрозионные. Основные горные системы Земли имеют тектоническое происхождение и занимают на Земле огромные пространства. Это наиболее сложные территории для строительства дорог и выбора мест для размещения аэродромов. Вулканические горы формируются в процессе вулканической деятельности, имеют очень сложные склоны, вследствие чего строительство дорог на них крайне затруднено. Эрозионные горы являются результатом длительного глубокого размыва древних аккумулятивных равнин, которые в силу эпейрогенических движений земной коры испытали известное поднятие и текущие поверхностные воды имели возможность активно их размывать.

В высотном отношении горы разделяются на высокие, средние и низкие. Высокие горы имеют абсолютные отметки более 2000 м с относительным превышением в 1000 м на 2 км

протяженности по линиям, перпендикулярным к направлению речных долин. Средневысокие горы – от 700 до 2000 м. Для низких гор характерны отметки от 150 до 450 м и пологие склоны.

Холмистый рельеф – это поверхности Земли, где чередуются небольшие возвышенности - холмы (высотой до 200 м) и понижения в виде ложбин, небольших котловин и долин (рис.26).

Роль рельефа в дорожном строительстве. При строительстве автодорог и аэродромов особое внимание необходимо уделять динамике земной поверхности, т.е. оценивать формы рельефа в их развитии. Отдельные формы рельефа могут быть временно стабильными, например, тектонического происхождения, но в конечном итоге и они со временем будут в силу разных причин претерпевать те или иные изменения. Важно при этом определять скорость этих изменений и в каком направлении они будут развиваться.

При проектировании автодорог и аэродромов инженер-дорожник должен находить ответы на следующие вопросы: 1) пригоден или непригоден рельеф территории для данного вида строительства (дороги, аэродромы), 2) какой это тип и какие формы рельефа, 3) происхождение форм рельефа и прогноз по их устойчивости во времени. Последнее является прогнозом жизни форм рельефа на период эксплуатации объектов с выработкой конкретных предложений по поддержанию их в стабильном состоянии.

Раздел II – Основы грунтоведения

Глава 7 Общие положения и классификация грунтов

Общие положения

В строительной практике повсеместно используется термин **«грунт»**, под этим термином понимают горные породы, почвы, техногенные образования, представляющие собой многокомпонентную и многообразную геологическую систему и являющиеся объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Грунты могут служить: 1) материалом оснований зданий и сооружений, 2) средой для размещения в них сооружений, 3) материалом самого сооружения.

Грунтами занимается наука **«Грунтоведение»**, которое является разделом науки **«Инженерная геология»**. Грунтоведение тесно взаимодействует с науками «Механика грунтов» и «Основания и фундаменты».

Автомобильные, аэродромные сооружения и городские пути сообщения являются сложными инженерными объектами. Они должны эксплуатироваться круглогодично и в течение длительного времени. Грунтоведение изучает свойства грунтов, которые для автомобильных дорог и аэродромов являются основаниями, средой, а часто и материалами, из которых они возводятся. Из грунтов возводят дорожные насыпи, в массивах грунтов выполняются дорожные выемки. После искусственного улучшения свойств, грунты используются в качестве покрытий дорог низших категорий. В толщах грунтов прокладывают трубопроводы и тоннели.

Грунты на автомобильных дорогах и аэродромах подвергаются постоянному воздействию многих негативных природных факторов (нагревание солнечными лучами, промерзание и оттаивание, увлажнение от атмосферных и подземных вод, растительность и т.д.) и динамических нагрузок от движущегося транспорта. Все это отрицательно сказывается на свойствах грунтов.

Табл.10.

Классификация грунтов (ГОСТ 25100-95)

Класс «Скальные грунты»

Класс	Группы	Подгруппы	Типы	Виды	Разновидности
Скальные грунты (с жесткими породами)	Скальные грунты	Магматические породы	Силикатные	Граниты, базальты, габбро и др.	Выделяются по: 1) прочности 2) плотности 3) выветрелости 4) водорастворимости 5) размягчаемо-
		Метаморфические породы	Силикатные	Гнейсы, сланцы, кварциты	
			Карбонатные	Мраморы и др.	

		Осадочные породы	Железистые	Железные руды	сти в воде 6) водопроницаемости 7) засоленности и др.
			Силикатные	Песчаники, конгломераты и др.	
		Карбонатные	Известняки, доломиты		
	Полускальные грунты	Магматические эффузивные породы	Силикатные	Вулканические туфы	
		Осадочные породы	Силикатные	Аргиллиты, алевролиты и др.	
			Кремнистые	Опоки, трепелы, диатомиты	
			Карбонатные	Мелы, мергели	
			Сульфатные	Гипсы, ангидриты	
Галоидные	Галиты				

Класс «Дисперсные грунты»

Класс	Группы	Подгруппы	Типы	Виды	Разновидности
Дисперсные грунты с (механическими и водноколлоидными структурными связями)	Связные грунты	Осадочные породы	Минеральные	Глинистые грунты	Выделяются по: 1) гранулометрическому составу, 2) числу пластичности, 3) набуханию, 4) просадочности, 5) водонасыщению, 6) коэф. пористости, 7) плотности, 8) содержанию органического вещества, 9) засоленности, 10) пучению и т.д.
			Органоминеральные	Илы, сапропели, заторфированные земли	
			Органические	Торф	
	Несвязные грунты	Осадочные породы	Силикатные	Пески и крупнообломочные грунты	
			Карбонатные		
			Полиминеральные		

Класс «Мерзлые грунты»

Класс	Группы	Подгруппы	Типы	Виды	Разновидности
Криогенными структурами	Скальные грунты	Промерзшие магматические, метаморфические и осадочные породы	Ледяные минеральные	Все магматические и метаморфические горные породы	Выделяются по: 1) льдистости 2) температурно-прочностным

	Полускаль- ные грунты	Промерзшие магматические эффузивные породы			свойствам 3) засоленно-сти 4) криогенной структуре и т.д.	
		Осадочные породы				
	Дисперс-ные грунты	Промерзшие связные и несвязные осадочные породы	Ледяные минеральные	Все виды дисперсных связных и несвязных грунтов		
			Ледяные органомине- ральные			
			Ледяные органические			
			Силикатные, карбонатные и др.			
	Ледяные грунты	Внутригрунт овые	Льды			Ледниковые
						Наледные, речные, озерные и т.д.
						Жильные, пещерные

Класс «Техногенные грунты»

Класс	Под-классы	Группы	Подгруппы	Типы	Виды	Разновидности
Техногенные грунты (с различными)	Скаль- ные грунты	Скальные и полускаль- ные грунты	Природные породы в естественном залегании, измененные физическим или физико-химическим воздействием	Силикат-ные	Граниты, ба- зальты, квар- циты, песча- ники и др.	Выделя- ются в соответс- твии с принадле- жностью к тем или иным
				Карбонат- ные	Мраморы, известняки, мергели и др.	

Дисперсные грунты	Связные грунты	Природные породы в естественном залегании, измененные физическим или физико-химическим воздействием	Силикатные, карбонатные, полиминеральные, органоминеральные и др.	Раздробленные скальные и дисперсные породы (глинистые, песчаные и др.)	природным породам или антропогенным образованиям с учетом специфических особенностей и свойств
	Несвязные грунты	Природные породы, перемешанные грунты: 1) насыпные, 2) намывные			
		Антропогенные образования: 1) насыпные, 2) намывные	Отходы производственной и хозяйственной деятельности человека	Городские свалки строительный мусор, шлаки, золы и др.	
Мерзлые грунты	Скальные и полускальные	Природные породы в естественном залегании, измененные физическим (тепловым) или физико-химическим воздействием	Те же природные породы, но в мерзлом состоянии	Все представители природных скальных и полускальных пород	Выделяются, как разновидности природных и антропогенных образований с учетом специфических особенностей и свойств
	Связные и несвязные ледяные грунты	Природные породы, измененные физическим или химическим воздействием		Все дисперсные породы	
		Перемешанные породы, антропогенные, измененные физическим или физико-химическим воздействием		Все виды дисперсных пород, бытовые и производственные отходы, шлаки, искусственные льды и т.д.	

Учет свойств грунтов и вышеперечисленных факторов внешнего воздействия лежит в основе проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог, аэродромов и городских путей сообщения.

В грунтоведение самостоятельным разделом входит «Техническая мелиорация грунтов», основной задачей которой является искусственное улучшение свойств грунтов.

Классификация грунтов. Согласно государственного стандарта (ГОСТ 25100-95) грунты разделяются по свойствам. Этот ГОСТ является основным документом при инженерно-геологических изысканиях, проектировании и строительстве дорожных и аэродромных сооружений. Все грунты разделяются на четыре класса: скальные, дисперсные, мерзлые и техногенные. Скальные, дисперсные и мерзлые грунты разделяются на группы, подгруппы, типы, виды и разновидности. Класс техногенных грунтов имеет три подкласса, которые в свою очередь состоят из

групп, подгрупп, типов, видов и разновидностей. Классификация грунтов (в сокращенном виде) согласно ГОСТа 25100-95 приведена в табл.10.

Глава 8 Строительных свойства грунтов

Каждый класс, группа, тип, вид и разновидность грунтов обладают своими, иногда специфическими свойствами. Для решения дорожно–строительных задач необходимо знать не только свойства грунтов, но и уметь выражать эти свойства в численном виде (механика грунтов), что необходимо для проектных работ по дорогам и аэродромам.

Со строительной точки зрения наибольшее значение имеют два вида показателей свойств грунтов: 1) **физические** и 2) **физико-механические** характеристики. Физические отражают состояние грунтов (плотность, пористость, влажность и др.), физико-механические - прочностные и деформационные свойства грунтов (например, прочность грунтов в воздушно-сухом состоянии – R_c).

На свойства грунтов существенное влияние оказывают также минеральный и химический состав, структуры и текстуры, а для скальных грунтов – трещиноватость, степень разрушенности, для дисперсных – содержание водорастворимых солей, присутствие органического вещества и т.д. От свойств грунтов зависят устойчивость и долговременность эксплуатации автомобильных дорог, аэродромов и сооружений на их территориях. Поэтому при определении свойств грунтов необходимо получать достоверные результаты. Свойства грунтов изучают: 1) в грунтоведческих лабораториях и 2) в полевых условиях, т.е. непосредственно на трассах будущих автодорог и на участках производства работ.

В **грунтоведческих лабораториях** образцы глинистых и скальных грунтов доставляется в виде монолитов, а рыхлые грунты (песок, щебень и др.) в виде проб. Образцы (пробы) грунтов отбирают в процессе инженерно-геологических изысканий при бурении скважин, проходке шурфов или просто в естественных обнажениях горных пород.

В лабораториях определяются все физические и физико-механические показатели грунтов. Каждая характеристика свойств грунтов определяется согласно соответствующего ГОСТа. Лабораторные работы на сегодня остаются основным способом определения свойств грунтов.

Однако, лабораторные работы достаточно трудоемкие и дорогостоящие, требующие для выполнения длительного времени. Поэтому в современных условиях и в перспективе этот вид работ будет все больше уступать место полевым методам изучения грунтов, которые дают возможность определять свойства грунтов достаточно быстро, с меньшими затратами труда и с большей достоверностью по результатам.

Полевые исследования грунтов выполняют инженеры-геологи при участии инженеров – дорожников непосредственно на трассах дорог (территориях аэродромов). Грунты изучаются в их природном состоянии и залегании в земной коре, без нарушения структурных и текстурных особенностей.

Полевые методы обеспечивают высокую точность результатов исследований. В последние годы в практику полевых работ стали внедряться экспресс – методы исследований, что имеет существенное значение для таких сооружений, как дороги большой протяженности. Мировая практика полевых исследований показывает, что во многих случаях объем полевых работ уже значительно превышает лабораторные исследования.

В полевых условиях наиболее часто определяются физико-механические показатели грунтов, т.е. прочностные и деформационные характеристики.

Прочностные показатели свойств грунтов в полевых условиях определяются в песках, глинистых и органоминеральных грунтах, которые не содержат примесей в виде щебня или гравия. Чаще всего используют два экспресс-метода: статическое и динамическое зондирование.

Динамическое зондирование выполняется путем ручной или механической забивки в грунты конуса (зонда). Забивка осуществляется стандартными ударами свободно падающего молота. В процессе зондирования фиксируют величину погружения зонда от числа ударов молота и определяют сопротивление грунтов внедрением конуса.

Статическое зондирование осуществляется путем плавного вдавливания в грунты конического зонда. Вдавливание осуществляют с помощью гидравлических, винтовых или реечных домкратов. При погружении зонда измеряется сопротивление грунтов его внедрению.

Считается, что статическое зондирование дает более верные результаты в силу непрерывности и плавности приложения нагрузок, это особенно предпочтительно при определении физико-механических показателей грунтов.

Статическое и динамическое зондирование позволяет оценивать несущую способность грунтов, степень их уплотнения в насыпях и намывных образованиях, определять глубину залегания скальных и крупнообломочных грунтов, устанавливать консистенцию глин и определять модуль деформации (E).

Метод зондирования нашел широкое применение при инженерно-геологических полевых изысканиях при строительстве автодорог и аэродромов. Этот метод позволяет ускорить изыскательские работы, сократить объем буровых и лабораторных исследований грунтов, но при этом следует заметить, что в глинистых грунтах он дает несколько завышенные значения модуля деформации (E_0) в сравнении с более высокоточным методом штампов. Потому результаты испытаний глинистых грунтов зондированием следует сравнивать с методом штампа и компрессионных испытаний образцов грунтов в грунтоведческих лабораториях.

Деформационные показатели в полевых условиях определяются в скальных и нескальных грунтах. Наибольшее применение в полевых условиях получил **метод штампов**, позволяющий определять величины допустимых нагрузок. Это устанавливается по предельным значениям напряжений, при которых структуры грунтов начинают разрушаться. Так определяется модуль общей деформации (E , МПа). В дорожном и аэродромном строительстве метод штампов чаще всего используется при строительстве мостов, путепроводов, эстакад, крупных придорожных сооружений и зданий.

Опыт определения свойств грунтов показал, что наиболее достоверные численные показатели можно получить при оптимальном сочетании полевых работ с лабораторными испытаниями и после статистической обработки полученных при этом результатов. Это связано с тем, что на трассах дорог (территориях аэродромов) исследования грунтов проводятся только по отдельным точкам, например, там, где пройдены буровые скважины, что, приводит к получению разрозненных результатов. Поэтому эти результаты необходимо обобщать и статистически обрабатывать по соответствующему ГОСТу для получения достоверных данных для всего массива данного грунта. Такие обобщенные показатели свойств грунтов можно уверенно использовать при проектировании сооружений.

Глава 9 Характеристика грунтов по классам

Автомобильные дороги имеют большую протяженность и проходят по самым разнообразным геологическим массивам. Аэродромы чаще всего размещаются в пределах одного массива грунта. Городские пути сообщения чаще всего прокладываются в техногенных грунтах. Каждый грунт характеризуется своими свойствами, что находит отражение в определенных нормативных документах и технических условиях на их строительство.

9.1 Класс «Скальные грунты»

Скальные грунты имеют структуры с жесткими кристаллическими связями. Класс включает в себя две группы: 1) скальных грунтов, куда входит три подгруппы горных пород – магматических, метаморфических и осадочных (хемогенных и цементированных) и 2) полускальных в виде двух подгрупп – магматических эффузивных и осадочных пород типа мергеля, гипса и др. Подгруппы по минеральному составу делятся на типы грунтов - силикатные, карбонатные и т.д. Типы разделяются на виды пород (граниты, мраморы, песчаники, известняки и т.д.), которые в свою очередь разделяются на разновидности грунтов. В основе каждой разновидности лежат свойства грунтов – по прочности, растворимости в воде, выветрелости, засоленности и т.д.

Грунты этого класса характерны для горных районов. На равнинах они встречаются редко. В дорожном и аэродромном строительстве скальные грунты могут быть: 1) несущими основаниями дорожных насыпей, 2) откосами выемок и 3) строительным материалом, например, щебнем.

Скальные грунты на поверхности земли могут находиться в «свежем» виде или в состоянии сильной разрушенности (выветрелости). Наиболее прочными, плотными, несжимаемыми и водостойкими являются «свежие» скальные грунты. Это обуславливается наличием в них жестких кристаллических структурных связей и силикатным химико-минеральным составом (граниты, гнейсы и др.). Полускальные грунты менее прочные, в ряде случаев они неводостойкие (мергель, гипсов и др.). В сильновыветрелых скальных грунтах структуры и химико-минеральные составы изменены в худшую сторону (табл.11). Степень выветрелости грунтов ($K_{вс}$) определяется соотношением плотностей выветрелого и «свежего» грунтов. По $K_{вс}$ грунты делят на «свежие» (невыветрелые) - $K_{вс} = 1,0$, слабоветрелые (трещиноватые) - $K_{вс} = 1,0 - 0,9$; выветрелые - $K_{вс} = 0,9 - 0,8$ и сильноветрелые - $K_{вс} < 0,8$. Судя по этим данным, можно сказать, что класс скальных грунтов, несмотря на свое наименование, представлен довольно разнообразными по свойствам грунтами, особенно это касается полускальных грунтов. В связи с этим к оценке свойств класса скальных грунтов следует подходить в каждом случае строго индивидуально. В целом скальные грунты являются надежным основанием дорог (аэродромов); хорошо держатся в откосах, дают качественный щебень, строительный камень. То же самое можно сказать о полускальных грунтах типа вулканических туфов, мергелей, аргиллитов, алевролитов. Другие полускальные грунты (мел, трепелы, гипсы) наибольшее значение имеют, как сырье для получения строительных материалов и изделий.

Табл.11.

Свойства скальных грунтов.

Скальные	Полускальные
Временное сопротивление сжатию, R_c , МПа	
Гранит – до 4000	Мергель – до 420
Кварцит – до 5100	Песчаник кремнистый – до 170
Известняк хемогенный – до 2000	
Способность к растворению в воде	
1. Нерастворимые – гранит, гнейс, кварцит	1. Среднерастворимые – гипс, конгломераты гипсоносные
2. Труднорастворимые – хемогенный известняк, доломит	2. Легкорастворимые – каменная соль

9.2 Класс «Дисперсные грунты»

Дисперсные грунты представляют собой осадочные горные породы (обломочные, органоминеральные и органические). Для этих грунтов характерны механические и водно-коллоидные структурные связи. Класс разделяется на две группы – связные и несвязные грунты. Связные грунты делятся на три типа – минеральные (глинистые образования), органоминеральные (илы, сапропели и др.) и органические (торфы). Несвязные грунты представлены песками и крупнообломочными грунтами (щебень, гравий и др.). В основу выделения разновидностей грунтов положены такие свойства, как плотность, засоленность, гранулометрический состав, способность набухать, водонасыщенность и т.д.

9.2.1 Общая характеристика дисперсных грунтов

Дисперсные грунты занимают важное место в дорожном и аэродромном строительстве. Они служат основаниями сооружений, являются материалом для создания насыпей, в них выполняются выемки.

Для грунтов дисперсного класса свойственны четыре характерных показателя: гранулометрический состав, фазовый состав, водно-тепловой режим и водные свойства грунтовых толщ.

Гранулометрический состав характеризует грунты и показывает, какие в данном грунте (песок, щебень, глина и т.д.) содержатся по размеру обломки горных пород и минеральные частицы и в каком они представлены количестве. Обломки и частицы, близкие по размеру, объединяют в группы, которые называют фракциями. Каждая фракция имеет свое название и пределы размеров обломков и частиц: 1) крупные обломки – более 2 мм; 2) песчаные частицы – 2 - 0,05 мм; 3) пылеватые – 0,05 – 0,005 мм; 4) глинистые – менее 0,005 мм. Количество каждой фракции выражается в процентах по отношению к общей массе грунта. Так, например, грунт имеет следующий состав: фракций больше 2 мм – 1%, 2 – 0,05мм – 80%, 0,05 - 0,005 – 15%, меньше 0,005 – 4%. Так как фракция 2 - 0,05 мм составляет более 50%, этот грунт является песком.

Гранулометрический состав определяется специальными методами. Так, крупнообломочные и песчаные грунты разделяют на фракции с помощью набора стандартных сит, имеющих различные отверстия. После отсева фракции взвешивают и устанавливают их процентное соотношение. Гранулометрический анализ грунтов проводят с помощью специальных достаточно сложных методов. Это позволяет установить литологические типы глинистых грунтов (супеси, суглинки, глины) и их разновидности, например, суглинки легкие, средние или тяжелые.

В дорожных работах данные гранулометрического состава широко используются при формировании искусственных грунтовых смесей оптимального состава и при улучшении свойств грунтов.

Фазовый состав. Дисперсные грунты, также как мерзлые и техногенные, состоят из твердой части (обломки горных пород и частицы минералов, лед), газообразной (воздух атмосферы), жидкой (вода) и органической массы. Твердая часть является скелетом грунта. В его порах, т.е. в промежутках между минеральными частицами (обломками) размещается воздух, вода (иногда лед) и органическое вещество. В органических грунтах картина иная. В них основной массой является органический материал, который представляет собой «скелетную» часть грунта. В этом скелете размещаются вода, минеральные частицы и отчасти воздух.

Грунты имеют различный фазовый состав. Так, сухой песок представляет собой сочетание двух фаз – твердой и газообразной; влажный песок – три фазы (твердая, воздух, вода); почвы – четыре фазы (твердая, воздух, вода, гумус).

Свойства дисперсных грунтов, особенно песчаных и глинистых в значительной мере зависят от фазового состава и количественных взаимоотношений фаз в нем. Так, например, глинистый грунт обычно состоит из трех фаз. В слабовлажной глине вода представлена малым количеством, а в глине текучего состояния воды очень много и она имеет уже совсем другие свойства. Знание фазового состава широко используется при выборе методов улучшения грунтов в дорожном строительстве.

Водно - тепловой режим. Под водно - тепловым режимом понимают распределение влажности и температуры в земляном полотне автодорог и на территориях аэродромов в разные времена года. Тепловой режим грунтов в земляном полотне и основаниях дорожных одежд оказывает влияние на их устойчивость и долговечность. При проектировании дорожных одежд и земляного полотна автодорог всегда предусматриваются мероприятия по регулированию теплового режима грунтов.

Тепловой режим дорожных сооружений характеризуется: 1) теплоемкостью, 2) теплопроводностью и 3) температуропроводностью грунтов. Все эти тепловые характеристики связаны определенными зависимостями с плотностью и влажностью грунтов и определяются в лаборатории.

Теплоемкость грунтов – величина переменная и показывает способность грунтов поглощать тепловую энергию при теплообмене. Эта величина зависит от минерального состава, влажности и газовой фазы грунтов, и является основной характеристикой при теплотехнических расчетах земляного полотна и оснований дорожных одежд.

Различают теплоемкость объемную и удельную (весовую). Объемная теплоемкость ($C_{об}$) численно равна количеству теплоты, необходимой для изменения температуры 1 см^3 грунта на 1°C . Размерность ее Джоуль на Кельвин (Дж/К). Чаще всего пользуются удельной теплоемкостью (C_y), которая численно равна количеству теплоты, которое необходимо сообщить единице массы грунта для изменения его теплоты на 1°C при отсутствии перемещения воды. Размерность – Дж/(кг К). Удельная теплоемкость большинства минералов составляет 0,71 – 0,92; для скелетных частей гравия и щебня – около 837,4; частиц песков ~711,8; супесей ~753,7, суглинков ~795,5 – 837,9; глин ~879,3 – 921,1. Теплоемкость влажных грунтов всегда выше теплоемкости сухих грунтов того же минерального состава.

Теплопроводность – способность грунтов передавать тепло. Оценивается коэффициентом теплопроводности « λ », имеет размерность кал/(см.сек.град). Величина теплопроводности возрастает с увеличением влажности и плотности грунтов.

Температуропроводность – скорость распространения температуры в грунтах. Оценивается коэффициентом « a » и размерностью $\text{см}^2/\text{с}$ (или $\text{м}^2/\text{ч}$). Коэффициент характеризует глубину суточных, сезонных и годовых изменений температур в толщах грунтов и насыпей. Увеличение влажности грунтов снижает величину температуропроводности.

Температурные характеристики всегда изучают одновременно с исследованиями режима влажности грунтовых толщ. В связи с этим введено понятие **водно-теплого режима грунтов**.

Водные свойства грунтовых толщ складываются из описания и оценки поступления, расхода и передвижения воды. Для верхних частей грунтовых массивов, сложенных песками и глинистыми грунтами, в зависимости от климата характерны три типа режима: 1) промывной, 2) непромывной и 3) выпотной (рис. 27).

Промывной режим – количество поступающей воды превышает величину испарения и поступления воды из глубины грунтовых толщ. Такие условия (избыточное увлажнение) характерны для северных территорий России.

Непромывной режим – количество поступающей в толщу грунтов воды недостаточно для насыщения всей толщи глубоко залегающей грунтовой воды. Вблизи поверхности земли образуются горизонты верховодок, ниже располагается зона с постоянно низкой влажностью. Такой режим типичен для степных районов с недостаточным увлажнением.

Выпотной режим – испарение превышает количество поступающей в грунт воды, т.е. выпадающих осадков. Вода для испарения подтягивается из глубины, от горизонтов грунтовых вод в виде капиллярной и парообразной воды. Это характерно для районов полупустынь.

Для строителей и эксплуатационников автодорог (аэродромов) особый интерес представляет годовой цикл изменения влажности и температур грунтов в верхних слоях земляного полотна в зависимости от сезонов. Эти изменения наиболее четко проявляются в лесной и лесостепной зонах.

В состав **годового цикла** входят следующие стадии:

1. Осенняя – увеличение атмосферных осадков и уменьшение испарения, повышение влажности в глинистых грунтах в верхней части толщ грунтов и земляного полотна, а в песках – проникновение воды в глубину.
2. Зимняя – промерзание грунтов, образование льда, подтягивание воды из глубины.
3. Весенняя – оттаивание льда, накопление воды, иногда даже больше величины влажности W_T , потеря грунтами прочности.
4. Летняя – период просыхания грунтов за счет испарения воды.

Все четыре стадии тесно взаимосвязаны и представляют собой единый процесс движения воды в верхней части грунтовых массивов и земляного полотна. Наиболее устойчиво в переменных условиях влажности ведут себя грунты оптимального гранулометрического состава и при оптимальной влажности ($W_{опт}$). В таких грунтах закрытые поры воду не пропускают и грунты сохраняют прочность.

При проектировании дорог и аэродромов всегда предусматриваются мероприятия по **искусственному регулированию** водно – теплового режима грунтов в основаниях дорожных одежд и земляном полотне: 1) ограничивают поступление воды сверху вниз путем поднятия поверхности

насыпи над уровнем грунтовых вод; 2) снижают уровень грунтовых вод дренажами; 3) закладывают насыпи на глубине 0,8-1 м глиняные прослойки или прослойки из грунта, обработанного битумом в целях капиллярно-прерывания; 4) отсыпают насыпи из грунтов оптимального гранулометрического состава; 5) уплотняют насыпи до оптимальной плотности и т.д.

В тех случаях, когда не обеспечен должный отвод атмосферных вод и уровень грунтовых вод в зимнее время остается высоким, под дорожными одеждами скапливается лед, что приводит к возникновению процессов пучения.

9.2.2 Типы и виды дисперсных грунтов

В класс дисперсных грунтов входят два типа грунтов: 1) несвязные грунты и 2) связные. Несвязные (пески, гравий и др.) имеют между своими обломками пород и частицами минералов механические связи, а в связных грунтах минеральные частицы кроме механического взаимодействия контактируют через пленки воды или, иначе говоря, имеют водно – коллоидные связи. К таким грунтам относится три вида образований: 1) минеральные, 2) органоминеральные и 3) органические. Наибольшее распространение имеют минеральные грунты в виде глинистых образований (глин, суглинков и супесей).

Тип несвязных грунтов. К этому типу грунтов относятся крупнообломочные и песчаные грунты.

Крупнообломочные грунты. Такие грунты сложены обломками горных пород размером более 2 мм и представлены дресвой, щебнем, гравием, галечником. Залегают локальными массивами, имеют небольшую мощность, располагаются в основном в долинах рек, на берегах морей. Для них характерна механическая связь обломков друг с другом. Свойства грунтов зависят от сложения и петрографического состава обломков. Обломки могут быть представлены любыми горными породами – чаще всего магматическими и метаморфическими, а из осадочных пород – хемогенными известняками, мергелями, песчаниками.

Пористость крупнообломочных грунтов обычно не превышает 40 %. Поры (пустоты) могут быть заполнены воздухом и водой. Встречаются грунты, поры которых заполнены песчаными и пылеватыми частицами. В этом случае пористость снижается до 25-30%.

Прочность и водостойкость крупнообломочных грунтов зависят от петрографического состава обломков, так, например, щебень (или гравий) из магматических пород имеет высокую прочность и водостойкость, а щебень из известняка или мергеля неводостоек и имеет невысокую прочность. На деформационных показателях, также сказывается степень выветрелости обломков. В сильновыветрелых грунтах значение модуля деформации значительно ниже.

Крупнообломочные грунты являются хорошим основанием для дорог и материалом для насыпей, при плотном сложении под нагрузкой не уплотняются, но при большом содержании глинистого материала уже появляется тенденция к сжимаемости. При сильных землетрясениях водонасыщенные крупнообломочные грунты могут разжижаться и терять устойчивость, что серьезно сказывается на устойчивости мостов и насыпей.

При наличии заполнителя в количестве более 30% (по массе воздушно-сухого грунта) к наименованию грунта добавляется название заполнителя, например, глинистый гравий. Грунты без заполнителя имеют большую водопроницаемость (K_f больше 100 м/сут). За счет движения воды грунты могут переходить из рыхлого состояния в плотное.

Песчаные грунты. Представляют собой массу, состоящую из разных по степени обработанности (от угловатых до окатанных) частиц в виде обломков минералов (иногда горных пород) преимущественно с механическими связями. Размер частиц от 2 мм до 0,05 мм. Основная масса песков состоит из кварца и полевых шпатов. В качестве примесей всегда присутствуют другие минералы – слюды, глинистые и т.д. Пески на поверхности земли имеют широкое распространение как на суше (речные и озерные), так и в морях (морские). Морские пески занимают большие площади, имеют многометровую мощность, чаще всего хорошо отсортированы по крупности частиц, нередко бывают мономинеральными, например, чисто кварцевыми. Речные пески (аллювиальные)

всегда локальны по площади распространения, маломощны, полиминеральны, не отсортированы, нередко имеют примесь глинистых частиц и гумуса.

По крупности частиц пески разделяются на разновидности – гравелистые, крупно-, средне- и мелкозернистые пылеватые. Пористость песков в рыхлом состоянии около 47%, а в плотном – до 37%. Пески рыхлого сложения легко переходят в плотное состояние при водонасыщении, вибрации или динамических воздействиях. За счет открытой пористости пески всегда водопроницаемы. В пылеватых песках K_f не превышает 1 м/сут., в крупнозернистых – 40-50 м/сут, а в гравелистых – 80-100 м/сут.

В плотном сложении пески хорошо воспринимают нагрузки и рассеивают напряжения в основаниях под дорожными одеждами. Модуль деформации их колеблется от 11 до 50 МПа и закономерно снижается от крупнозернистых к пылеватым разновидностям.

Пески в дорожном строительстве являются надежным основанием для насыпей и дорожных покрытий, используются для изготовления различных строительных изделий, цементных растворов и т.д. Применимость песков как сырья для производства строительных материалов находится в зависимости от их основного в количественном отношении минерала и таких примесей, как слюды, соли, гипс, глинистые минералы, гумус. Эти примеси в ряде случаев ограничивают использование песков для тех или иных целей.

Устройство в песках дорожных выемок сопряжено с известными трудностями. В рыхлых сухих песках приходится делать очень пологие откосы, что ведет к большим объемам земляных работ. Такие откосы при эксплуатации дорог необходимо укреплять покровом дерна, посевом трав и т.д.

Тип связных грунтов. К этому типу грунтов относятся минеральные (глинистые), органоминеральные и органические грунты.

Глинистые грунты. Эти образования обычно залегают самостоятельными слоями, иногда в виде прослоев или линз в толщах других грунтов, что типично в основном для речных и озерных отложений. Мощность слоев очень разнообразна – от нескольких сантиметров до многих метров. Глины сложены глинистыми минералами (до 95%), среди которых преобладает гидрослюда, каолинит, монтмориллонит и др. Изредка встречаются чистые каолиновые или монтмориллонитовые глины. В суглинках кроме глинистых минералов типа гидрослюд (до 30-50%) содержатся кварц, полевые шпаты и другие кластогенные минералы, имеющие размер пылеватых частиц. В составе супесей основное место занимают кластогенные зерна кварца, полевых шпатов, а глинистые минералы находятся в подчиненном количестве (до 10-12%).

К глинистым грунтам с известной условностью можно отнести **почвы**, которые покрывают практически всю поверхность земли (кроме песчаных пустынь, крутых склонов гор и т.д.) довольно тонким слоем – от несколько сантиметров до 3-4 м (черноземы). По составу это чаще всего суглинки, обогащенные гумусом и остатками корневой системы растительности, листовного опада, отмерших растительных и животных останков. Среди почв различают тундровые глеевые, подзолистые, сероземы, черноземы, желтоземы, красноземы и ряд других видов этих образований.

Почвы представляют собой сложнейшую экосистему, являются плодородными образованиями и служат основой для формирования экосистем высших иерархических уровней, по существу, создают условия для существования различных жизненных форм. При строительстве автодорог и аэродромов их необходимо сохранять в обязательном порядке. До начала строительства основных дорожных сооружений почвы срезают, складывают и впоследствии укладывают в местах, где они необходимо проводить рекультивационные работы.

Показатели свойств глинистых грунтов – это пористость, поглотительная способность, коррозионные свойства, а также целая группа, особых свойств, так называемых «характерных свойств» – пластичность, консистенция, липкость, набухание, усадка, размокаемость, разрыхляемость, склонность к морозному пучению.

Пористость (n) глинистых грунтов различна: супеси – 10-15%, суглинки – 20-30%, глины – 90-95%. В супесях, легких и средних суглинках поры имеют открытый характер, т.е. практически соединяются друг с другом, что позволяет достаточно свободно проникать в грунт как воздух, так и

воде. В глинах большинство пор имеет закрытый характер, поры изолированы друг от друга, могут содержать заземленные воздух и воду. Закрытость пор придает глинам характер водоупоров и через глины вода не фильтруется.

В порах глинистых грунтов кроме воздуха и воды иногда содержится **органическое вещество** в форме гумуса. Гумус очень гидрофилен и поэтому существенно влияет на свойства глинистых грунтов, повышая их активность во взаимоотношениях с водой. В грунтах повышается влагоемкость, пластичность, сжимаемость под нагрузками и т.д.

Вообще, вода в порах грунтов играет значительную, подчас определяющую роль. Она может создавать и резко менять их свойства и, следовательно, «управлять» поведением грунта, как в естественном залегании, так и под нагрузками.

Поглотительная способность глинистых грунтов, также отчасти связана с водой в их порах и определяется активной поверхностью глинистых частиц, которая энергично взаимодействует с окружающей частицы средой. Наивысшей активностью отличаются глинистые частицы, которые несут на своей поверхности электрические заряды. В природных условиях все поверхности грунтовых частиц и прежде всего глинистых обязательно несут на себе какие-либо вещества. Это могут быть катионы и анионы, пленки окислов железа и алюминия или органических веществ типа гумуса, соединений из битума и др. Все эти вещества называют обменными, так как они могут приходить и уходить из грунтов. Обменные вещества активно влияют на свойства глинистых грунтов, но характер воздействия различен и зависит от вида поглощенных веществ. Наиболее активную роль играют молекулы воды, органические соединения и катионы химических элементов, таких как К, Na, Са, Mg. Специальными способами эти обменные катионы можно вводить и выводить из грунтов, заменять один катион на другой, например К на Na или Са на Mg и тем самым целенаправленно управлять свойствами грунтов.

При прохождении через грунты жидкостей и газов поверхность частиц притягивает к себе содержащиеся в них вещества или наоборот, отдает в эти жидкости и газы какие-либо вещества со своей поверхности в виде мельчайших частиц или в ионной форме. Характеристика этого процесса получила наименование поглотительной способности грунтов.

Каждый грунт может поглотить только определенное количество катионов. Максимальное количество поглощенных катионов зависит от емкости обмена данного грунта и выражается в миллиграмм-эквивалентах (мг-экв) на 100 г сухого глинистого грунта. Величина емкости обмена зависит: 1) от дисперсности частиц, т.е. чем мельче частицы и их больше в единице объема грунта, тем больше будет суммарная поверхность частиц, больше будет общая величина поверхностной энергии; 2) от того, какие минералы присутствуют, например, наибольшей поглотительной способностью обладает монтмориллонит.

Поглотительная способность во многих случаях оказывает решающее значение при выборе методов и осуществлении работ по искусственному улучшению свойств грунтов в целях дорожного строительства.

Коррозионные свойства глинистых грунтов. Коррозия – это разрушение строительных материалов, металлических конструкций и дорожных одежд, расположенных в глинистых грунтах. Коррозия возникает в результате электролиза, который начинается в грунтах после воздействия блуждающих электрических токов на поровый водно-солевой раствор. В этом процессе вода пор становится электролитом. Коррозионные разрушения наиболее типичны для автодорог городских территорий, где развито трамвайное движение. При проектировании дорожных сооружений следует предусматривать меры защиты против коррозии.

Характерные свойства глинистых грунтов

Пластичность – это способность глинистых грунтов под действием внешнего давления изменять свою форму без разрыва сплошности, т.е. без образования трещин, и сохранять полученную форму. Пластичные свойства обуславливаются наличием пленочной воды и проявляются только в определенном диапазоне влажности глинистого грунта, т.е. между двумя определенными величинами влажности. Меньшая величина называется нижним пределом пластичности или границей раскатывания (W_p), а большая – верхним пределом пластичности, или

границей текучести (W_L). При влажности ниже W_p грунт находится в твердом состоянии, а когда она выше W_L грунт растекается (рис.). Разница между величинами W_p и W_L называется числом пластичности (J_p , доли ед.). (рис.28).

По значениям J_p глинистые грунты согласно ГОСТу 25100-95 разделяют на три литологические разновидности: супеси ($J_p < 0,7$), суглинки ($J_p = 0,7-0,17$) и глины ($J_p > 0,17$). Эти разновидности грунтов имеют разные свойства, что учитывается в расчетах при проектировании оснований, насыпей и т.д.

Консистенция тесно связана с пластичностью, отражает физическое состояние грунтов и показывает степень подвижности частиц в зависимости от различного количества в грунтах воды. Консистенция (J_p в долях единиц) определяется по формуле:

$$J_L = \frac{W - W_p}{W_L - W}$$

где W - влажность грунта в естественных условиях.

По значениям J_L с помощью специально разработанных таблиц устанавливают в каком состоянии находится грунт, например, суглинки и глины могут иметь консистенцию твердую, полутвердую, тугопластичную, мягкопластичную, текучепластичную, текучую. Супеси бывают в твердом состоянии, пластичном текучем.

Липкостью называют способность глинистых грунтов во влажном состоянии прилипать к поверхности предметов. Липкость обуславливается пленочной водой, которая окутывает частицы глинистых грунтов, а в почвах, кроме того, и за счет присутствия гидрофильного гумуса. Пески и супеси липкостью не обладают.

Липкость является отрицательным свойством глинистых грунтов, которые прилипают к колесам и тракам дорожных машин, усложняют выгрузку грунта из ковша экскаваторов или кузовов машин, усложняют работу конвейеров, резко ухудшают условия передвижения транспорта.

Липкость выражается в силе прилипания глинистого грунта к поверхности предмета. Наибольшая величина липкости проявляется при оптимальной влажности грунта (W_{opt}) и составляет 0,04-0,1 МПа. Увеличение давления рабочих органов землеройных и других машин на глинистые грунты вызывает повышение величины липкости. Свойство липкости необходимо учитывать при производстве строительных дорожных работ.

Набухание. Это способность глинистых грунтов увеличивать свой объем в результате увлажнения. Этот процесс свойственен глинам и тяжелым суглинкам. Набухающие грунты обычно залегают слоями и чаще всего приурочены к поверхности земли в сухих районах. Мощность слоев набухающих глин обозначается H_{sw} .

Набухание грунта происходит после соприкосновения с водой, если грунт до этого был сухим или слабовлажным. Вода проникает в грунт по капиллярам, пленки воды утолщаются до уровня W_{MMB} , частицы грунта раздвигаются, и грунт увеличивает свой объем. Одновременно в увеличении объема грунта принимает участие монтмориллонит, который поглощает воду и увеличивает свой объем во много раз.

Способность грунтов к набуханию изучается в лаборатории, где опытным путем устанавливается величина относительного набухания E_{sw} по формуле:

$$E_{sw} = \frac{h_{nc} - h}{h}$$

где h – начальная высота образцов, h_{nc} – высота после набухания. При значении E_{sw} больше 0,04 грунт считают набухающим. Одновременно с E_{sw} определяют влажность набухания (W_{sw}), при которой проявляется максимальная величина набухания, и давление набухания (P_{sw}), проявляющееся при увеличении объема грунта. P_{sw} может достигать 0,8МПа. Такая сила набухания легко поднимает и деформирует дорожное покрытие, нарушает целостность земляных насыпей.

При строительстве автодорог и аэродромов в период инженерно - геологических изысканий выявляют наличие набухающих грунтов и принимают защитные меры. К ним относятся: 1)

водозащита грунтов; 2) замена набухающего на ненабухающий грунт; 3) переработка набухающего грунта с песком, что делает его ненабухающим; 4) прорезка слоя набухающих глин опорами мостов, эстакад, теплотрасс.

Усадка глинистых грунтов. Усадкой называют уменьшение объема глинистого грунта при высыхании. Это практически процесс, обратный набуханию. Высыхание грунтов может происходить вследствие испарения воды или отсасывания из грунтов воды корнями деревьев, которые посажены слишком близко к дороге и их корни проникают в насыпи и под дорожную одежду. При усадке грунты растрескиваются, теряют монолитность и прочность.

Усадка определяется в лаборатории, где устанавливаются: 1) величина относительной усадки или, иначе говоря, предел усадки:

$$E_{Sh} = \frac{h_n - h_d}{h_n}$$

где h_d – высота образца грунта с W_{max} , а h_n – высота после его высыхания, 2) влажность грунта на пределе усадки (W_{sh}), 3) мощность грунтов, которые подвержены усадке (H_{sh}). Наибольшая величина E_{sh} бывает у глин, наименьшая – у суглинков. В супесях усадка не проявляется. Грунт, достигший предела свой объем практически больше не уменьшает.

Проявление процесса усадки предупреждают теми же мерами, что и набухание грунтов, но кроме этого еще предусматривают покрытие склонов насыпей и откосов выемок слоями дерна или производят посев трав. Деревья размещают от дорог на расстоянии, согласно специально разработанных нормативных документов.

Размокаемость представляет собой процесс полной или частичной утраты глинистыми грунтами прочности под действием спокойной воды. Этот процесс характеризуется определенной продолжительностью. Способность к размоканию понижается по мере увеличения глинистости грунтов, т.е. от супесей до глин. Способность к размоканию необходимо учитывать при решении вопросов устойчивости стенок и откосов дорожных насыпей и котлованов.

Размываемость – это разрушение грунтов (песчаных, глинистых) под действием текучих вод. Степень размываемости зависит от гранулометрического состава и структурных связей грунтов, скорости потоков воды. Глины размываются медленнее, чем пески, суглинки, супеси. Критическая скорость размыва глинистых грунтов составляет 0,7-1,2 м/с. Данные о размываемости необходимы для проектирования откосов дорожных сооружений.

Разрыхляемость – это способность грунтов (песчаных и глинистых) увеличиваться в объеме при разработке вследствие потери структурных связей между частицами. Плотность грунтов уменьшается. Разрыхленный грунт, уложенный в земляное сооружение, уплотняется. Однако такой грунт не занимает первоначального объема, который имел до разработки и сохраняет некоторое разрыхление, характеризуемое коэффициентом остаточного разрыхления – $K_{o.p.}$, значение которого для песков 1,01-1,025, суглинков – 1,015-1,05 и глин – 1,04-1,09.

Органоминеральные грунты. Такими грунтами являются илы, сапропели и заторфованные земли. Это своеобразные осадочные образования, иногда занимающие довольно большие площади. Своим происхождением они обязаны водной среде и располагаются в речных долинах, на низких берегах морей, озер, в пониженных частях рельефа, на территориях с высоким положением грунтовых вод, например, в тундре. Это высокопористые и водонасыщенные массы.

В составе этих грунтов содержатся: 1) песчаные, пылеватые и глинистые частицы, 2) органический материал в виде гумуса и частично остатков растений и 3) вода, которой в ряде случаев бывает больше, чем минеральной и органической частей (рис.29). Гумус содержится в следующем количестве: 1) илы – не менее 10%, 2) сапропели – до 30%, но с примесью растительных остатков, 3) заторфованные грунты – более 50% при большом количестве растительных остатков.

Илы – водонасыщенные современные (или древние) осадки дна водоемов в виде песчано-пылевато-глинистой массы с органическим материалом (гумусом). Окраска черная, масса рыхлая,

количество воды превышает содержание минеральной части (за исключением древнего ила). Ил следует считать начальной стадией формирования некоей осадочной породы. Мощность слоев илов колеблется от нескольких сантиметров до многих метров. Модуль деформации (E) изменяется в пределах 0,1-2 МПа. Коэффициент пористости илов супесчаного состава составляет 0,8-1,2, суглинистого - 0,9-1,6 и глинистого – 1,2-2,0. Илы практически не держат нагрузки, легко выдавливаются из под сооружений, при динамическом воздействии разжижаются.

Небольшую нагрузку могут выдерживать лишь древние илы, особенно, если они перекрыты какой-либо толщей глинистых отложений.

Сапропели – рыхлые почти жидкие, водонасыщенные песчано-пылевато-глинистые отложения, содержащие органический материал типа гумуса. Мощность слоев сапропелей от 1 до 20 м. Более или менее уплотненный сапропель называют сапроколом.

Заторфованные грунты – это песчано-пылевато-глинистые водонасыщенные грунты, но с большим содержанием органических веществ (до 50%) в виде останков корней с примесью гумуса. При оценке их свойств большое значение имеет степень разложения растительных останков (R_p). По этому признаку их разделяют на четыре разновидности: 1) $R_p < 15\%$, 2) $R_p = 16-30\%$, 3) $R_p = 31-50\%$, 4) $R_p > 50\%$.

Строительство автодорог и их эксплуатация на органо-минеральных грунтах представляют сложный и трудоемкий процесс. Для аэродромов эти грунты практически непригодны. Их заменяют на другие или сверху укладывают мощные слои песчаных грунтов.

Органические грунты представлены торфом, масса которого сложена из не полностью разложившихся останков болотных растений. Окраска чаще всего темно-коричневая. В торфах всегда имеется примесь песка, пылеватых и глинистых частиц. Останки растений создают волокнистый каркас, что и формирует структуру таких грунтов. Большинство торфов сформировалось в древние времена, и на сегодня они между собой различаются по степени разложения растительных останков и геологическому строению торфяников. Наиболее характерны следующие случаи: слой торфа плавает на воде (рис.30, 1); лежит на сапропеле (рис.30, 2); располагается на минеральном дне, т.е. на слое глины (рис.30, 3). Встречаются случаи, когда торф перекрыт слоем песка и глины (рис.30, 4). Мощность слоев торфов бывает от нескольких сантиметров до десятков метров.

При влажности в 800-1000% плотность торфов колеблется от 0,7 до 1,4 г/см³, плотность торфов в сухом состоянии составляет 0,2-0,4 г/см³. При подсыхании или давлении торф сокращает свой объем в 3-7 раз; наибольшей сжимаемостью обладает слабо-разложившийся торф. Процесс сжатия торфа под нагрузкой протекает длительное время и на различных участках дороги может проявляться неодинаково.

Все органо-минеральные и органические грунты содержат воду, которая обладает агрессивными свойствами по отношению к строительным материалам. В связи с непрерывным гниением растительных останков свойства торфов очень изменчивы во времени. Модуль деформации (E) обычно меньше 5 МПа. Лучше всего выдерживают нагрузки древние, более плотные торфы.

Местности, где распространены органо-минеральные и органические грунты, являются неблагоприятными, как для строительства, так и эксплуатации автомобильных дорог. Строительство здесь осуществляется по специальным нормам и во многом зависит от геологического строения территории. Так, например, земляная насыпь может укладываться из расчета на вытеснение слоя ила до минерального дна; ил и сапропель можно вытеснить каменной наброской, а маломощные слои и сапропеля (1-3м) заменить на песок, гравий, щебень. На слоях древних торфов насыпь первоначально отсыпает больше проектных отметок дороги, но после сжатия торфа дорога выходит на проектные значения высоты. Опоры мостов и путепроводов практически всегда обходят участки с этими грунтами и опирают их на прочные (скальные, плотные глины, слои песка и т.д.) грунты, которые сохраняют необходимую прочность и устойчивость во времени.

9.3 Класс «Мерзлые грунты»

Согласно ГОСТу 25100-95 «мерзлые» грунты выделены в самостоятельный класс. В него входят скальные, полускальные и дисперсные грунты, находящиеся в условиях отрицательных температур. К этим трем группам добавляется группа ледяных грунтов из надземных и подземных льдов (ледниковых, речных, пещерных и др.). Разновидности мерзлых грунтов выделяются по степени льдистости, температурно-прочностным свойствам, криогенной текстуре и т.д. Все грунты этого класса имеют криогенные структурные связи, т.е. цементирующим веществом в них является лед. Чистые льды которые в строительстве автодорог и аэродромов нередко играют роль грунтов.

В первой половине XX в России сформировалась наука «мерзлотоведение». В настоящее время эта наука называется «геокриология», а мерзлые грунты именуют «криогенными грунтами» (от греч. криос - холод, лед).

Мерзлотоведение изучает состав и свойства грунтов, находящихся в мерзлом состоянии или подверженных воздействию отрицательных температур, а также типичные для них характерные процессы и явления.

Климат на территории России, весьма различный. В одних районах температуры всегда бывают положительными, а в других (кроме короткого летнего времени) господствуют отрицательные температуры. Это прямым образом сказывается на состоянии грунтов, которые могут находиться: 1) в талом, 2) морозном и охлажденном, 3) мерзлом состоянии .

В охлажденном состоянии могут находиться скальные и полускальные горные породы (магматические, метаморфические, осадочные породы в виде известняков, сцементированные породы). Солнечное тепло в летнее время, до известной степени, может нагревать эти породы, но их строительные свойства при этом практически остаются неизменными.

К охлажденным грунтам можно также относить те связные грунты, которые находятся под воздействием отрицательных температур (или даже при нулевой температуре), не имеют в порах льда, но могут содержать в них воду повышенной солености.

Наиболее существенно отрицательные температуры влияют на связные грунты, содержащие воду (песчаные, глинистые, крупнообломочные, органоминеральные и др.). В зависимости от времени воздействия отрицательных температур эти грунты могут быть в следующих состояниях:

- 1) многолетнемерзлые (вечномерзлые) – от трех и более лет,
- 2) сезонномерзлые – от одного до двух сезонов,
- 3) кратковременномерзлые (практически талые) – от нескольких часов до трех суток.

Прочностные и деформативные свойства мерзлых грунтов отличаются от свойств других твердых минеральных тел и немерзлых (талых) грунтов. В мерзлых грунтах при внешних нагрузках возникают необратимые перестройки структур и текстур, что вызывает релаксацию напряжений и деформацию ползучести, т.е. происходит изменение прочностных и деформационных свойств во времени. Релаксация – это расслабление структур грунтов, а ползучесть – нарастание величин деформаций во времени. Так например, в мерзлых песках начало текучести при $-1,6^{\circ}\text{C}$ отмечается при нагрузке в 2 кг/см^2 , а в мерзлых глинах при $-1,9^{\circ}\text{C}$ даже при 1 кг/см^2 .

Лед, как грунт. Поведение под нагрузкой льда определяется особенностями его внутреннего строения, т.е. от характера молекул, которые его слагают. Температура природного льда обычно близка к температуре его плавления. Это обуславливает высокую деформативную способность льда, который способен течь подобно вязкой жидкости при любой приложенной к нему нагрузке. Лед – это идеально текучее твердое тело.

Понимание закономерностей деформирования льда, как и сильнольдистость грунтов, зависит прежде всего от особенностей их внутреннего строения.

9.4 Класс «Техногенные грунты»

Техногенные грунты представляют собой, с одной стороны, природные породы – скальные, дисперсные, мерзлые, которые в каких-либо целях были подвергнуты физическому или физико-химическому воздействию, а с другой стороны – искусственные минеральные и органоминеральные образования, сформировавшиеся в процессе бытовой и производственной деятельности человека. Последние часто называют антропогенными образованиями. В этот класс входит очень большое количество самых разнообразных минеральных образований. Это хорошо видно из табл.10. В связи с этим среди техногенных грунтов присутствуют минеральные образования с различными структурными связями – кристаллическими, механическими, водно-коллоидными и криогенными.

В отличие от других этот класс разделяется на три подкласса, а каждый подкласс на группы, подгруппы, типы, виды и разновидности грунтов. Последние таксоны выделяются на основе специфических особенностей и свойств грунтов.

Искусственные техногенные грунты разделяются на: 1) бытовые отходы (свалки и культурные слои), 2) отходы производства (золы, шлаки и др.) и 3) строительные грунты (насыпные и намывные).

Бытовые отходы. Свалки имеются в каждом населенном пункте и дорожное строительство на них практически не производится. Культурные слои типичны в городах и формируются стихийно в результате планировочных работ, подъема уровня улиц, накоплений строительного мусора. Мощность слоев колеблется от сантиметров до многих метров. Они не выдержаны по площадям, содержат органический материал, имеют непредсказуемые свойства. При строительстве дорог их либо убирают либо укрепляют.

Отходы производства представляют собой минеральные массы различной мощности, но локальные по площади. По своему составу они очень разнородны. К ним относятся шлаки, золы, формовочные земли, отходы горнорудной промышленности, угледобывающих шахт и др. Дороги на таких грунтах практически не строят (за исключением подъездных путей), но материал отходов широко применяют при сооружении насыпей и для планировки территорий, в том числе и аэродромов. Если все же появляется необходимость в проведении дороги по отходам производства, то строительные свойства изучают в основном полевыми методами.

Строительные грунты создаются специально для дорожного строительства с наперед заданными свойствами. Для того чтобы создать строительный грунт, вначале выполняет проект, в котором указывается: 1) цель создания этого грунта (дорожная насыпь, планировка и т.д.), 2) какой природный грунт будет для этого использован (песок, суглинок и т.д.), 3) какими физическими и физико-механическими характеристиками он должен обладать и 4) способы создания строительного грунта. Строительные грунты делятся на: 1) насыпные, 2) намывные и 3) улучшенные по свойствам.

Насыпные грунты иногда именуют как отсыпные. Из насыпных грунтов создаются дорожные насыпи, дамбы, выполняют планировку территорий. Для создания насыпных масс используются пески, гравий, супеси, суглинки, отходы производства и т.д. Исходные грунтовые массы берут непосредственно у дороги, в близлежащих карьерах, в отвалах отходов производства. Структуры грунтов в насыпях отличаются от структур в их природном залегании, имеют иные водные и воздушные режимы.

Грунты в дорожные насыпи отсыпают послойно с уплотнением до проектных значений. Глинистые грунты уплотняют специальными машинами, пески – пропуском воды или вибровоздействием. Отсыпные грунты можно не уплотнять, но самоуплотнение под собственным весом длится очень долго, в песках это происходит через 2-3 года, в глинистых грунтах – 2-8 лет, в промышленных шлаках – 10 лет и более. Самоуплотненные грунты называют слежавшимися.

Намывные грунты создаются из речных (реже морских) песков, которые переносятся средствами гидромеханизации и укладываются на месте назначения (трасса дороги, площадь аэродрома). Намытые пески через две-три недели теряют воду, приобретают необходимую плотность и становятся пригодными для дальнейших строительных работ.

Улучшенные грунты. Природные грунты, как и отходы производства, во многих случаях не имеют свойств, которые требуются для дорожного строительства. В этих случаях их свойства искусственно изменяют, т.е. улучшают. Такие грунты называют улучшенными. Способы улучшения свойств грунтов рассматриваются ниже.

Глава 10 Техническая мелиорация грунтов

Техническая мелиорация грунтов – это наука об искусственном и целенаправленном улучшении свойств грунтов в целях решения задач строительства, в том числе при создании дорог и аэродромов.

Многие природные грунты по своим свойствам не отвечают требованиям нормативов по строительству. Они могут быть недостаточно прочными и не всегда выдерживают необходимые нагрузки, по свойствам нестабильны во времени, неводостойки и т.д. В связи с этим во многих случаях появляется необходимость в улучшении свойств грунтов в целях придания им необходимых для строительства качеств. Техническая мелиорация позволяет улучшать свойства многих грунтов.

10.1 Улучшение свойств скальных грунтов

Автомобильные дороги в горных районах часто строятся на скальных грунтах. Откосы выемок бывают крутые и плоские. Последнее связано с трещиноватыми и сильно выветрелыми скальными грунтами. На таких откосах постоянно идет осыпание обломков пород. Осыпи, которые накапливаются у подошвы склонов, необходимо расчищать. Их можно также удерживать подпорными стенами. Трещины в породах откосов, чтобы не возникали обвалы, необходимо заделывать цементом и укреплять металлическими скобами. Нависающие над дорогой скалы необходимо подпирать бетонными стенами или под ними устраивать полутоннельные дорожные проходы.

10.2 Улучшение свойств дисперсных грунтов

10.2.1 Общие положения. Для строительства дорог и аэродромов необходимо иметь крупнообломочный материал, например, щебень. На равнинах очень часто этот материал отсутствует и его приходится завозить из дальних карьеров. В связи с этим строители часто используют различные песчано-пылеватые-глинистые грунты, свойства которых искусственно улучшают. Такие улучшенные грунты применяются: 1) в качестве оснований дорожных покрытий (асфальта, цементобетона), 2) в виде облегченных покрытий со слоем износа для дорог низших категорий.

Хорошие результаты можно получить при улучшении свойств песков, супесей и суглинков. Труднее это удастся сделать с крупнообломочными грунтами с небольшим содержанием песчаных и глинистых частиц. Практически не удастся улучшать свойства «жирных» глин, сильно засоленных, органоминеральных грунтов.

Улучшение свойств дисперсных грунтов можно осуществлять двумя путями: 1) укреплением грунтов за счет коренного изменения структуры и создания, новых наиболее прочных структурных связей, что придает грунтам прочность, уменьшает водопроницаемость и 2) стабилизацией грунтов в виде защиты существующих структурных связей от воздействия воды, что также приводит к повышению прочности и водостойкости грунтов. Укрепление грунтов осуществляется методами уплотнения, а стабилизация – методами физико-механического и химического воздействия на грунты.

Для каждого грунта в зависимости от того, где он будет использован в строительстве дороги, выбирается тот или иной способ улучшения свойств. Для каждого грунта выбор способа зависит: 1) от его литологической особенности; 2) химико – минерального состава; 3) вида и количества органических примесей; 4) климата района строительства. Если выбранный способ не приносит должного результата, тогда подбирается другой способ или одновременно используется группа способов.

10.2.2. **Улучшение свойств грунтов уплотнением.** В дорожном строительстве способ уплотнения грунтов используется постоянно, особенно при создании насыпей. Песок или структурно нарушенный глинистый грунт укладывается слоями. Каждый слой уплотняется с помощью машин-катков или вибрации. Уплотнение производят согласно проекту до величины оптимальной плотности. Это позволяет, во-первых, повысить прочность грунтов за счет уменьшения пористости и, во-вторых, понизить водопроницаемость. В глинистых грунтах это создает преграду движению капиллярной воды.

Оптимальная плотность ($\rho_{\text{опт}}$, г/см³) – это плотность грунтов, которая обеспечивает им устойчивое состояние в данных климатических условиях и при конкретных нагрузках от автотранспорта. Величина оптимальной плотности достигается в тот момент, когда грунт имеет оптимальную влажность ($W_{\text{опт}}$). Для каждой литологической разновидности грунтов характерна своя величина $W_{\text{опт}}$. Она определяется в лабораторных условиях по специальным методикам.

При уплотнении грунтов по слоям на дороге (аэродроме) необходимо производить **контрольные замеры**. Для этого из каждого уплотненного слоя отбирают образцы грунтов, и величина плотности устанавливается в лаборатории. Плотность грунтов можно также определять непосредственно в уплотненных слоях. Для этого используются полевые экспресс-методы.

10.2.3 **Улучшение свойств грунтов методами добавок.** Классификация методов. Эти методы предназначаются для песчаных или глинистых грунтов и дают возможность сохранять или даже улучшать свойства за счет упрочнения структуры и ее защиты от воздействия воды. Работа проводится в следующей последовательности: 1) в грунты вводятся добавки в виде минерального или органического вещества; количество вводимых добавок определяется нормами или лабораторным экспериментом, 2) грунты смешиваются с добавками при $W_{\text{опт}}$, укладываются на дороге слоями, каждый из которых уплотняется до оптимальной величины.

В автодорожных работах применяют следующие виды добавок: 1) гранулометрические, 2) органические, 3) минеральные и 4) комплексные. В табл.12. показаны добавки, которыми можно улучшать свойства многих дисперсных грунтов.

Таблица 12.

Добавки и виды грунтов.

№ п/п	Добавки	Виды грунтов
1.	Гранулометрические – щебень, гравий, дресва, песок, глинистые грунты	Пески, суглинки, глины.
2.	Органические – битумы, мазут, дегти	Пески, супеси, суглинки.
3.	Минеральные – цементы, известь	Пески, супеси, суглинки, глины.
4.	Химические – CaCl_2 , MgCl_2 , NaCl .	Супеси, суглинки.
5.	Комплексные – Гранулометрические + органика Гранулометрические + минеральные Гранулометрические + соли Органические + минеральные	Супеси, суглинки, глины.

Метод гранулометрических добавок. Грунты, предназначенные для насыпей и дорожных одежд, должны иметь оптимальный гранулометрический состав. После укрепления такие грунты имеют, во-первых, оптимальную плотность и, во-вторых, способны оказывать сопротивление нагрузкам в условиях переменной влажности.

Оптимальные по гранулометрическому составу пески и глинистые грунты можно создавать: 1) смешением двух или трех разных грунтов, что формирует грунтовую смесь или 2) введением в улучшаемый грунт определенной гранулометрической добавки.

Грунтовые смеси составляются для конкретных климатических условий, т.е. определенного режима влажности. В природных условиях только супеси, в какой-то мере имеют оптимальный гранулометрический состав.

Оптимальная грунтовая смесь составляется смешением двух (реже трех) грунтов различного гранулометрического состава. В этой смеси должно быть определенное соотношение песчаных (скелет смеси, оказывающий сопротивление нагрузкам), глинистых (связывающих песчаные частицы друг с другом) и пылеватых частиц (заполняющих поры, что повышает плотность смеси).

Оптимальные по гранулометрическому составу грунтовые смеси должны иметь определенную пластичность - в районах с избыточным увлажнением она должна быть меньше, в засушливой местности - больше. Из этого следует, что в условиях влажного климата в оптимальных смесях должно быть больше песчаных частиц, а количество глинистых всего 3-10%. При сухом климате количество глинистых частиц увеличивается (до 15%).

Гранулометрические добавки используются в целях придания грунтам более высоких механических свойств. Для этого в песок вводятся глинистые добавки, а в глинистые грунты – щебень, гравий или песок. Количество вводимых добавок определяется расчетом или по нормативам.

Грунтовые смеси и грунты после ввода гранулометрических добавок тщательно перемешиваются, укладываются на дорогу и уплотняются до оптимального значения с помощью специальных дорожных машин.

Метод органических добавок. Грунты, улучшенные органическими добавками, используются в качестве оснований дорожных покрытий и в виде покрытий дорог низших категорий, что наиболее типично для степных районов, где отсутствуют каменные материалы. Органическими добавками можно улучшать свойства песков, суглинков и супесей. Для определения количества добавок, которые необходимо в них вводить, следует изучить гранулометрический и химико-минеральный состав, определить наличие гумуса. В пески вводят добавки в количестве 2-5% (к весу грунта), в супеси – 6-9% и суглинки – 7-10%.

В качестве добавок используют нефтяные битумы и каменноугольные дегти (последние используются редко). До введения добавок грунты измельчают до размера комочков (агрегатов) в 2-3 мм и увлажняют до величины $W_{\text{опт}}$. После введения добавки грунт перемешивают, укладывают на дорогу и уплотняют до оптимальной плотности машинами.

Органические добавки в грунты вводят в жидком (подогретом) состоянии или в виде водных эмульсий. Органика смачивает поверхность частиц и образует пленки. Поверхность частиц при этом адсорбирует составные части битума (асфальтены) и дегтя (свободный углерод).

При обработке некоторых грунтов наблюдается недостаточное прилипание органики к поверхности частиц, особенно таких минералов, как кварц и полевые шпаты. Для повышения активности поверхности частиц в грунт предварительно вводят (2-3% по весу) «активатор» в виде извести. После этого эффект прилипания органики значительно возрастает, и грунт получает необходимую прочность и водостойкость.

Метод минеральных добавок. Свойства грунтов можно улучшать с помощью добавления в них извести или цементов.

Известь в качестве добавок применяется в виде пушонки или известкового теста. Наибольший эффект улучшения свойств дает негашеная известь – кипелка. Известкованием улучшают глины, суглинки и пылеватые супеси. Норма извести составляет 6-12%. Точное количество устанавливается в лаборатории.

Известь агрегирует разрозненные глинистые частицы, укрепляет старые и создает новые структурные связи, что повышает прочность грунтов, снижает способность к набуханию и липкости. Пески укреплять известью нецелесообразно, так как в них не образуется никаких структурных связей между частицами.

Способ известкования в целом повышает механическую прочность грунтов незначительно. Морозоустойчивость грунтов остается низкой. В связи с этим, при улучшении грунтов на дорогах

низших категорий в районах степей и полупустынь известь чаще всего используют в качестве активатора.

Цементы применяются в качестве добавок в целях улучшения свойств песков и глинистых грунтов, которые используют в основаниях дорожных покрытий и в качестве покрытия на дорогах низших категорий обязательно с укладкой на них слоев износа (в виде щебня, обработанного битумом). Лучший эффект дает портландцемент. Для песков его расход составляет 8-10% по весу, для суглинков – 10-14%. Глины требуют большого расхода цемента.

Цементы вводят в песок (или размельченный глинистый грунт) при $W_{\text{опт}}$, перемешивают, укладывают на дорогу и уплотняют до оптимальной плотности машинами. В грунтах образуются новые кристаллические структурные связи. Процесс твердения цемента проходит довольно медленно, поэтому прочность цементогрунта через 7 суток не превышает 60% от максимальной величины. Этот процесс можно ускорить, если грунты до введения цемента предварительно обработать CaCl_2 .

Цементные добавки повышают прочность грунтов, снижают восприимчивость к переменной влажности, уменьшают набухание, пластичность и способность к размоканию.

Лучшие результаты цементации получаются в грунтах оптимального гранулометрического состава, супесях, глинистых грунтах, в которых преобладает поглощенный Са, отсутствует монтмориллонит, количество легкорастворимых солей не превышает 3% и гумуса – 1%. Плохо цементируются глины и глинистые грунты, насыщенные обменными катионами Na и H.

Метод химических добавок. При улучшении свойств глинистых грунтов различными добавками необходимо, чтобы грунты имели влажность на уровне $W_{\text{опт}}$. Во время дорожных работ сохранить такую влажность в грунтах довольно трудно, особенно в летнее время и в период дождей. В связи с этим для поддержания влажности грунтов на уровне $W_{\text{опт}}$ в летнее время грунты предварительно обрабатывают гигроскопическими солями, которые притягивают к себе пары воды из воздуха и имеют слабую испаряющую способность. Так, например, CaCl_2 притягивает воду, увеличивает свой вес в 4-5 раз.

Внесение в грунты хлористого кальция или магния обеспечивает в течение продолжительного времени наиболее благоприятные условия для максимального уплотнения грунтовых смесей, в частности, движением автотранспорта. В таких грунтах в сухое время года практически не происходит пылеобразование.

Метод комплексных добавок. Введение в грунты какой-либо одной добавки (минеральной, органической и т.д.) не всегда дает положительный эффект. Так, цементогрунты – хрупкие, имеют недостаточную морозостойкость и истираемость, битумогрунты – недостаточно прочные, излишне пластичные. Недостатков или иного метода можно избежать, если вместо одного одновременно применять группу методов, или, иначе говоря, комплекс добавок. При этом какая-либо одна добавка является основной, а другие – дополнительными и будут восполнять недостатки основной.

Грунты можно активизировать добавками в виде химических веществ (0,5-1% от веса грунта). После введения их в грунты поверхность минеральных частиц начинает активно взаимодействовать с основными добавками. Это связано с концепцией этих веществ на поверхности частиц грунта в виде тончайших адсорбционных слоев, которые меняют свойства поверхностей в отношении взаимодействия с водой. Такие химические вещества (едкий и углекислый натрий, хлористый кальций, сернокислый магний и др.) получили название поверхностно-активных веществ.

При комплексном укреплении грунтов можно использовать введение одновременно нескольких второстепенных добавок. Так, например, при улучшении свойств песков и глин кроме основной добавки в виде битума можно предварительно вводить цемент, известь и поверхностно-активные химические вещества. Каждая дополнительная добавка обеспечивает в грунте какое-то свое свойство. После введения основной добавки грунты в целом получают необходимые высокие строительные качества (прочность, водостойкость, морозостойкость и т.д.).

В заключении следует отметить, что современные методы технической мелиорации могут коренным образом изменять и укреплять природные грунты и придавать им необходимые для строительства качества. Многолетние наблюдения за автодорогами и территориями аэродромов, построенных с применением улучшенных грунтов, подтверждают их достаточно высокие эксплуатационные качества.

В дальнейшем более широкое использование улучшенных грунтов в автодорожном и аэродромном строительстве будет зависеть от совершенствования технологий производства работ и от разработок новой высокопроизводительной дорожной техники.

Раздел III Гидрогеология (подземные воды)

Глава 11 Общие сведения о подземных водах

Воды, находящиеся в верхней части земной коры и заключенные в порах, трещинах, пустотах горных пород, носят название подземных вод. Гидрогеология – это наука о подземных водах, их происхождении, условиях залегания, законах движения, свойствах.

Подземные воды, с одной стороны, могут быть полезными, выступая в роли запаса технических и питьевых вод, что имеет существенное значение при строительстве дорог, но, с другой стороны, они нередко серьезно осложняют, как строительство, так и эксплуатацию дорожных сооружений. Так при строительстве дорог (аэродромов) подземные воды затапливают дорожные выемки, канавы, карьеры дорожно-строительных материалов, обводняют основания дорожных насыпей, тем самым снижая их устойчивость, обладая агрессивными свойствами разрушают строительные материалы (бетон, кирпич и т.д.).

Подземные воды в большинстве случаев являются первопричиной образования опасных геологических процессов, которые свойственны трассам дорог (аэродромов). Это карсты, суффозия, болота, наледи и солифлюкация в криолитозоне, подтопления территорий и т.д.

Автомобильные дороги имеют большую протяженность. Определенные участки дорог всегда имеют различные гидрогеологические условия, что необходимо учитывать при проектировании дорожных сооружений. Поэтому строители дорог (аэродромов) должны знать основные положения гидрогеологии и использовать это при решении вопросов водоснабжения дорог и поиска способов борьбы с подземными водами в целях обеспечения надежности эксплуатации различных инженерных сооружений.

Круговорот воды в природе. Вода в условиях земной поверхности находится в постоянном движении. Испаряясь с поверхности морей, океанов и суши, она в парообразном состоянии поступает в атмосферу. При соответствующих условиях пары конденсируются и в виде атмосферных осадков (дождей, снега) возвращаются на поверхность Земли – в морские бассейны и на сушу. Так происходит полный круговорот воды в природе (рис. 31).

В процессе круговорота происходит постоянное возобновление природных вод, в том числе и подземных. Процесс смены первоначально накопившихся вод поступающими вновь называют водообменом. Установлено, что в круговороте воды на Земле ежегодно участвуют более 500 тыс. км³ воды. Наиболее активно возобновляются речные воды.

Интенсивность водообмена подземных вод различна и зависит от глубины их залегания от поверхности земли. С водообменом в значительной степени связано появление подземных вод. По происхождению подземные воды принято делить на инфильтрационные, ювенильные и седиментационные (реликтовые).

Инфильтрационные (лат. инфильтра – просачивание) подземные воды. Как следует из самого названия они образуются за счет атмосферных осадков, речных, озерных и других вод, которые под действием гравитации просачиваются вглубь земной коры по крупным порам, трещинам и пустотам горных пород. С некоторой условностью к этим водам можно отнести и конденсационные воды, образовавшиеся в результате конденсации паров воды из воздуха,

находящихся в поровом (пустотном) пространстве горных пород. Для конденсационных вод также свойственно движение сверху вниз под действием силы тяжести.

Ювенильные подземные воды образуются за счет соединения кислорода и водорода, выделяемых в магматических процессах, а также при дегидратации минералов, содержащих воду в своей кристаллической решетке. На поверхности Земли ювенильные воды могут выходить на поверхность в районах вулканической деятельности в виде выбросов пара из трещин или горячих источников, т.е. для них характерно движение снизу вверх.

Седиментационные (реликтовые) воды возникали после образования (седиментации) древних морских осадков в начале геологической истории формирования земной коры и являются захороненными водами в древних горных породах морских бассейнов.

Виды воды в горных породах. Подземная вода в горных породах может находиться в различных видах:

- кристаллизационная и химически связанная вода входящая в состав минералов, например в гипсе ($\text{CaSO}_4 \bullet 2\text{H}_2\text{O}$);

- вода в твердом состоянии (лед), встречается в породах с отрицательной температурой в виде кристаллов и прожилков льда;

- парообразная вода в воздухе, заполняющем пустоты пород; при незначительном количестве этого вида воды (до 0,001 % от веса породы) она способна к быстрому перемещению в толщах пород и существенно влиять на их свойства;

- гигроскопическая (прочносвязанная) вода, располагается на частицах пород в виде прерывистой молекулярной пленки, удерживается на них за счет электромолекулярных сил, не подвергается воздействию гравитации и обладает специфическими физическими свойствами (температура замерзания близка к – 4 град.С; плотность достигает 1,4 г/см.3 , движется: в сторону падения электрического потенциала, увеличения дисперсности грунта, пониженных температур и др.);

- пленочная (рыхлосвязанная) вода представляет собой пленку из нескольких тысяч молекулярных слоев, удерживается на поверхности частиц электромолекулярными силами, способна к перемещению от более толстых слоев воды к менее толстым пленкам, но так же как и гигроскопическая вода не зависит от сил гравитации; не передает гидростатического давления;

- капиллярная вода, как следует из ее названия, находится в тончайших капиллярах (лат. «капиллярис» - волосной), трубочках или порах пород, удерживается в них силами поверхностного натяжения (капиллярными силами), подтягивается вверх (на высоту до 1,5-3,0 м) от скоплений подземных вод, или существует самостоятельно в виде капиллярно-подвешенной воды; капиллярная вода в капиллярах диаметром 1,6 мм замерзает при минус 6,4°С, а при диаметре в 0,06 мм – около минус 19°С. Эта вода способна передвигаться за счет разности температур (от холода к теплу), растворять и переносить растворенные соли;

- гравитационная (свободная, текучая) вода находится в породах в капельно-жидком состоянии и обладает способностью перемещаться по порам и трещинам под действием силы тяжести.

Следует отметить, что последний вид воды является основным объектом изучения гидрогеологии, тогда как в инженерной геологии все перечисленные виды воды играют определенную роль, обуславливая многие свойства пород.

Глава 12 Водные показатели горных пород

В породах основными водными показателями являются влагоемкость, водоотдача, водопроницаемость и в качестве результирующего показателя грунта по отношению к воде – его естественная (природная) влажность.

Влагоемкость – способность горных пород вмещать и удерживать в себе воду. При полном заполнении пор и трещин водой порода находится в состоянии полного насыщения. Такое состояние называют полная влагоемкость ($W_{п.в.}$):

$$W_{в.п.} = n/\rho,$$

где n – пористость и ρ – плотность скелета породы.

Наибольшее значение $W_{в.п.}$ совпадает с величиной пористости породы. По величине $W_{в.п.}$ породы разделяют: 1) на весьма влагоемкие (торф, суглинки), 2) слабо влагоемкие (мергель, мел, рыхлые песчаники, мелкие пески) и 3) не влагоемкие, т.е. породы, которые не удерживают в себе воду (галечники, гравий, щебень, крупнозернистые пески).

Водоотдача (W_v) – способность пород, насыщенных водой, отдавать свободную (но несвязную) воду в виде стока. Величина водоотдачи выражается в процентном отношении объема свободных вытекающей из породы воды к объему всей породы, или количеством воды, вытекающей из 1 м^3 породы. Наибольшей водоотдачей обладают крупнообломочные породы, пески, в которых величины W_v колеблется от 25 до 43%. В глинах водоотдача практически отсутствует.

Водопроницаемость (K_f) – способность пород пропускать через свои поры и трещины воду с той или иной скоростью. Чем больше размер пор или крупнее трещины, тем выше водопроницаемость пород. Водопроницаемость пород, т.е. их фильтрационная способность, оценивается коэффициентом фильтрации K_f м/сут, который характеризует собой движение подземной воды в каждой породе.

Естественная (природная) влажность (W) – количество воды, которое имеет порода в условиях естественного залегания, отнесенное к весу данного объема породы в сухом состоянии. Этот показатель является одним из основных при характеристике дисперсных грунтов и может определяться в лаборатории, в полевых условиях и измеряется в % или в долях единицы.

Степень (коэффициент) влажности (S_r , % или доли ед.) характеризует относительную долю заполнения пор водой. Ее величина численно равна отношению объема воды (V_w) к объему пор породы (V_n):

$$S_r = V_w / V_n$$

Глава 13 Свойства подземных вод

Подземная вода характеризуется рядом показателей, которые практически определяют ее качество, как питьевой и технической воды. К таким показателям относятся окраска, прозрачность, вкус, запах, плотность, температура, радиоактивность, наличие примесей в виде газов, органического материала и солей.

Химически чистая вода бесцветна. Окраску воде придают минеральные примеси (желтоватую, изумрудную и т.д.). Прозрачность зависит от окраски и наличия мути (минеральных частиц). Вкус связан с растворенными веществами: соленый от хлористого натрия, горький – сульфата магния и т.д. Запах, вода получает от газов (сероводород и др.) и присутствия органических веществ.

Плотность воды – это масса воды, находящаяся в единице ее объема. Максимальная плотность бывает при 4°C . Сжимаемость воды характеризуется коэффициентом сжимаемости, показывающим на какую долю первоначального объема жидкости уменьшается объем при увеличении давления на 10^5 Па. Коэффициент сжимаемости вод составляет $2,5 \times 10^{-5}$ Па, т.е. вода в некоторой степени обладает упругими свойствами, что важно при изучении напорных подземных вод.

Температура подземных вод колеблется в зависимости от глубины залегания водоносных горизонтов, геологического строения местности, климата и т.д. Воды бывают холодные (от 0 до 20°C), теплые (20 - 37°C), термальные (37 - 100°C), перегретые (свыше 100°C). очень холодные воды связаны с вечной мерзлотой, высокогорными районами; перегретые типичны районам вулканической деятельности. На равнинах в водозаборах или природных источниках вода чаще всего имеет температуру от 7 до 11°C .

Радиоактивность подземных вод связана с присутствием радиоактивных элементов (урана, тория, радия и др). Вода становится непригодной для питьевых целей.

Примеси в подземных водах присутствуют практически постоянно. Обычно это растворенные в них газы и соли, иногда органические вещества.

Газы (O_2 , CO_2 , CH_4 , H_2S и др.) придают воде определенный вкус и свойства. Виды и количества газов обуславливают степень пригодности воды для питьевых и технических целей. Большое количество газов ограничивает применение вод в строительном производстве.

Органические вещества. Подземные воды у поверхности земли нередко загрязнены органическими примесями (болезнетворные бактерии, органические вещества из канализационных систем и т.д.). Такие примеси наиболее часто наблюдаются в районах городов, молочно-товарных ферм и т.д. Такие воды неприятны на вкус и опасны для здоровья людей.

При строительстве автодорог и аэродромов подземные воды для питьевых целей можно использовать только после их бактериологического анализа в соответствии с ГОСТом. Такие анализы выполняют специальные санитарно-эпидемиологические лаборатории (СЭС).

Соли. Подземных вод без растворенных в них солей не бывает. Чаще всего воды содержат хлориды, сульфаты и карбонаты. Суммарное содержание растворенных в воде солей называют общей минерализацией и оценивают ее по количеству сухого или плотного остатка (в мг/л или г/л), который получается после выпаривания определенного объема воды при $105-110^{\circ}C$.

По общему содержанию солей подземные воды разделяют: 1) на пресные (до 1г/л растворенных солей), 2) солоноватые (от 1 до 10 г/л), 3) соленые (10-50 г/л) и 4) рассолы (более 50 г/л). Количество и вид солей устанавливается химическим анализом.

Жесткость воды – это свойство, обусловленное содержанием кальция и магния, т.е. она связана с карбонатными солями. В настоящее время величину жесткости выражают количеством миллиграмм кальция и магния, при этом 1 мг-экв жесткости соответствует содержанию в 1л воды 20.04 мг иона кальция или 12.6 мг иона магния.

По жесткости воду разделяют: 1) на мягкую (менее 3 мг-экв), 2) средней жесткости (3-6 мг-экв), 3) жесткую (6-9 мг-экв) 4) очень жесткую (более 9мг-экв). Наилучшим качеством обладает вода с жесткостью не более 7 мг-экв.

Агрессивность подземных вод выражается в разрушительном воздействии растворенных солей и кислотности на строительные материалы, в частности, на портландцемент, на металлы. Различают следующие основные виды агрессивности подземных вод:

- общекислотная – оценивается величиной рН; в песках вода считается агрессивной при рН менее 7, а в глинах рН менее 5;
- сульфатная – при содержании иона SO_4^{2-} в количестве более 200 мг/л;
- магниевая – связана с повышенным содержанием иона Mg^{2+} ;
- карбонатная – обуславливается воздействием на строительные материалы агрессивной углекислоты;
- выщелачивающая – обуславливается низким содержанием в воде иона HCO_3^-

При строительстве подземную воду необходимо оценивать на предмет наличия в ней агрессивных свойств. Это устанавливается химическим анализом и сопоставлением данных анализа с требованиями соответствующего норматива.

При установлении наличия агрессивных свойств, определяют меры борьбы с подземной водой:

- 1) в строительстве используют только тот цемент, который является стойким к данному виду агрессивности,
- 2) подземные части сооружений, которые могут контактировать с подземной водой, надежно гидроизолируют,
- 3) уровни подземных вод снижают или воду полностью отводят с помощью дренажей.

Глава 14 Классификация и характеристика основных видов подземных вод

14.1 Классификация подземных вод

Наибольший интерес для решения строительных задач представляет классификация подземных вод по условиям залегания и распространения в земной коре. При этом следует

заметить, что приповерхностная часть земной коры в зависимости от степени насыщения горных пород водой, делится на две зоны: верхнюю – аэрации и нижнюю – насыщения.

Зона аэрации непосредственно связана с атмосферой, в ее пределах поры пород заняты как водой, так и воздухом и через нее происходит просачивание воды от поверхности вглубь к зоне насыщения. Мощность (толщина) зоны аэрации колеблется от нуля в заболоченной местности до ста и более метров в горных районах с сильно расчлененным рельефом.

Зону насыщения в гидрогеологии принято называть также водоносным горизонтом, причем под этим термином обычно понимают слой или несколько слоев водопроницаемых пород, в пределах которых все поры, пустоты и трещины заняты гравитационной водой. Толщина этой водонасыщенной зоны, т.е. расстояние по вертикали от практически водонепроницаемой породы (водоупора) до верхней границы водонасыщения называется мощностью водоносного горизонта. Следует помнить, что «водоносный горизонт» - понятие не плоскостное, а объемное (трехмерное).

По условиям залегания и прежде всего в связи с чередованием проницаемых слоев горных пород и водоупоров по вертикали принято выделять три основных типа водоносных горизонтов: 1) верховодка; 2) грунтовый водоносный горизонт; 3) межпластовый водоносный горизонт. Соответственно, подземные воды этих водоносных горизонтов называют – верховодка, грунтовыми и межпластовыми подземными водами.

Перечисленные виды подземных вод распространены повсеместно. Вместе с тем, иногда встречаются подземные воды, прослеживающиеся только на отдельных, ограниченных по площади участках земной коры, к примеру, подземные воды карстовых пород, болот и др. Эти подземные воды можно называть локальными или азональными..

На рис.32 показан геологический разрез местности, на котором четко видно, где залегают верховодка, грунтовая и межпластовые воды. Все эти воды располагаются в водоносных слоях, отсчет которых производится сверху вниз. В первом (верхнем на рисунке) водоносном слое располагаются верховодка и грунтовая вода. Межпластовая вода залегает между водоупорными слоями.

Ниже дается характеристика верховодке, грунтовой и межпластовой водам и некоторым азональным водам (карстовым, трещинным и др.).

14.2 Верховодка

Это скопление вод в зоне аэрации, которые образуются на небольшой глубине в результате инфильтрации атмосферных осадков. Инфильтрующаяся вода временно задерживается на локальных водоупорах (или полуводоупорах), в роли которых выступают линзы глин, прослойки более плотных пород. Верховодки могут возникать даже при отсутствии, каких либо водоупоров, а образуются из-за малой проницаемости суглинков, в силу чего происходит временное скопление воды у поверхности земли. Через некоторое время это скопление рассасывается.

Верховодки обычно занимают малые площади, имеют небольшую мощность, безнапорны, чаще всего образуются в период снеготаяния или обильных дождей. В сухое время года они могут отсутствовать.

Для верховодок типичны территории равнин и понижений рельефа, на склонах они обычно отсутствуют. Этот вид подземных вод представляет значительную опасность для строительства автодорог и аэродромов. При инженерно-геологических изысканиях, проводимых в сухое время года, возможность появления верховодок предсказать затруднительно. Их появление может быть неожиданным, а это приводит к подтоплению оснований дорог, обводнению дорожных насыпей и их деформации. Для водоснабжения верховодки большого интереса не представляют (воды мало, она временная, обычно загрязненная).

Грунтовая вода

Грунтовая вода залегает в первом от поверхности земли водопроницаемом слое, лежит на первом водоупорном слое. Она обычно занимает значительные площади и пополняется водой в основном за счет атмосферных осадков. Грунтовые воды безнапорные.

На рис. 33 показаны элементы грунтовой воды. Поверхность слоя грунтовой воды называется зеркалом. Это зеркало в какой-то мере отвечает рельефу данной местности. Зеркало в разрезе, как это показано на рис.33, именуется уровнем грунтовой воды (УГВ) и на чертеже обозначается знаком перевернутого треугольника. Глубина залегания грунтовых вод от поверхности земли колеблется от 0 до 50м и более. Ноль метров указывает, что зеркало соприкасается с поверхностью земли. Грунтовая вода лежит на поверхности водоупора, которая называется ложем. Расстояние между уровнем и ложем характеризует мощность слоя грунтовой воды, которая бывает от нескольких сантиметров до многих метров.

Глубины залегания и мощности слоев грунтовых вод находятся в зависимости от климата и геологического строения данной местности. Это могут быть метры и десятки метров.

Зональность грунтовых вод - это закономерное изменение глубин залегания, количества и качества грунтовых вод в связи с зональностью климата и ландшафта. В европейской части России зоны с характерными природными условиями простираются в направлении с северо-запада на юго-восток, а в азиатской части – севера на юг (с различными отклонениями в зависимости от местных условий). В этих направлениях уменьшается количество атмосферных осадков, повышается сухость воздуха и в связи с этим увеличивается глубина залегания грунтовых вод и их минерализация. Зональность грунтовых вод во многом совпадает с дорожно-климатической зональностью.

Кроме зональных вод имеются азональные воды, не связанные с зональностью климата. К таким водам относятся грунтовые воды трещин пород, карстовых районов, вечной мерзлоты и другие.

Трещинные воды – циркулируют в трещинах горных пород, образуя единую гидравлическую систему. В зависимости от условий залегания они бывают, как грунтовыми воды, так и межпластовыми.

Трещинно-грунтовые воды развиты в верхней зоне земной коры (до глубины 80-100м), сложенной скальными и полускальными породами, питаются атмосферными водами, имеют большие колебания уровней во времени. Водоупором этих вод являются монолитные скальные массивы. В большинстве случаев это пресные воды гидрокарбонатно–кальциевого состава.

Карстовые воды циркулируют по трещинам и пустотам в массивах известняков, гипсов, солей и мергелей. Количество этих вод определяется степенью развития карстовых пустот, отличаются интенсивным движением, особенно в верхней части карстовых массивов, непостоянством химического состава.

Грунтовые воды вечной мерзлоты. В вечной (многолетней) мерзлоте содержится два вида вод: 1) надмерзлотные (грунтовые воды) и 2) межмерзлотные и подмерзлотные (межпластовые).

Надмерзлотные воды – это безнапорные водоносные горизонты типа верховодок и грунтовых вод, которые располагаются в верхней части вечномерзлой толщи в так называемом деятельном слое. Водоупором для них служит собственно вечная мерзлота. Питание эти воды получают за счет атмосферных осадков, таяния снега и льда.

Воды деятельного слоя зимой промерзают, летом оттаивают и могут использоваться для водоснабжения, но количество их бывает незначительным и качество не всегда бывает хорошим. В лучшую сторону смотрятся надмерзлотные вода участков таликов, которые зимой не замерзают. Вода на этих участках имеет постоянный сток, пресная и очень холодная (до 0,5⁰С), активно используемая для водоснабжения.

14.4 Межпластовая вода

Эта вода заключена в водоносных горизонтах, расположенных между двух водоупоров. В количественном отношении ее гораздо больше, чем грунтовой воды, однако она, как правило, залегает на значительных глубинах и в зону влияния транспортных сооружений попадает редко. Межпластовая вода в земной коре может быть безнапорной и напорной. Последнюю принято называть артезианской (рис.34).

Безнапорные межпластовые воды встречаются редко. Они связаны с горизонтальным залеганием водоносных горизонтов, заполненных водой частично или полностью.

Напорные (артезианские) воды обязаны своим происхождением синклинальному (вогнутому) или моноклинальному (наклонному) характеру залегания водоносных слоев. В этом случае отдельные части водоносного горизонта располагаются на различных высотных отметках, что и создает напор подземных вод.

Геологические структуры синклинального типа, содержащие один или несколько напорных водоносных горизонтов и занимающие значительные площади, называют артезианскими бассейнами. Так, Московский артезианский бассейн включает в себя 15 водоносных горизонтов и занимает площадь около 500 тысяч кв.км. При моноклинальном залегании водоносных слоев образуется артезианский склон.

Влияние различных видов подземных вод (верховодки, грунтовых и межпластовых вод) на условия возведения и эксплуатацию инженерных сооружений различно.

Верховодка прежде всего влияют на свойства горных пород и могут вызывать специфические процессы и явления в грунтах, такие, например, как набухание морозное пучение, обводнение дорожных насыпей.

Влияние грунтовых вод более многообразно в силу их более широкого распространения и постоянного присутствия в толщах горных пород. С ними связано не только изменение свойств грунтов, но и многочисленные негативные процессы и явления.

Межпластовые подземные воды, на первый взгляд, в меньшей степени влияют на условия возведения и эксплуатации таких инженерных сооружений, как аэродромы и автомобильные дороги. Однако, если эти воды залегают относительно неглубоко, то могут быть вскрыты дорожными выемками или котлованами различных аэродромных или дорожных сооружений. Сравнительно глубокозалегающие напорные межпластовые воды существенно осложняют строительство и эксплуатацию мостов через реки и транспортных тоннелей.

Глава 15 Закономерности движения подземных вод

15.1 Общие положения

Гравитационная вода, заключенная в порах и пустотах горных пород передвигается в них под действием силы тяжести по определенным законам, обусловленным физическим состоянием самой воды, разностью уровней (напоров) в разных точках потока, свойствами горных пород, размерами пустот. Закономерности этого движения и их прикладные аспекты изучаются одним из разделов гидрогеологии – динамикой подземных вод. Основные положения этого раздела науки о подземных водах следует знать и учитывать при решении вопросов связанных прежде всего с понижением уровня подземных вод или их полным отводом от различных сооружений, а также при планировании водоснабжения.

Форма залегания грунтовых вод практически ограничивается двумя видами. Это грунтовый поток и грунтовый бассейн (рис.35). В грунтовом потоке происходит определенная фильтрация воды, а в грунтовом бассейне вода находится в практически неподвижном состоянии.

Следует отметить, что грунтовые воды в горных породах могут передвигаться, как путем инфильтрации, так и фильтрации. При инфильтрации передвижение воды происходит при частичном заполнении пор пород водой или водяными парами. Это типично зоне аэрации. При фильтрации движение воды происходит при полном заполнении пор (или трещин) водой. Это создает фильтрационный поток. Фильтрационные потоки по характеру движения воды могут отвечать двум законам – ламинарному и турбулентному. При ламинарном движении воды передвигаются в виде параллельных струй. Это свойственно пескам, суглинкам и супесям. Движение воды в виде вихревых струй происходит по турбулентному закону. Такое движение воды типично галечникам, большим трещинам и пустотам скальных пород.

При решении вопросов движения грунтовых вод следует помнить, что движение может быть установившимся и неустановившимся. При установившемся движении все элементы фильтрационного потока (направление, скорость и др.) практически не изменяются во времени. При неустановившемся потоке эти основные элементы во времени колеблются, т.е. движение имеет

переменный характер. Это связано с неравномерной инфильтрацией атмосферных осадков, искусственной откачкой вод и т.д.

Движение потока безнапорных подземных вод осуществляется за счет разности гидравлических уровней, т.е. от мест более высоких к местам более низких уровней. Это можно видеть на рис.36, где $\Delta H = H_1 - H_2$. отношение величины ΔH к длине пути фильтрации L называется гидравлическим уклоном (или гидравлическим градиентом J), т.е. $J = \Delta H/L$.

При ламинарном движении потока количество подземных вод, протекающее (фильтрующееся) через поперечное сечение породы в единицу времени, прямо пропорционально гидравлическому градиенту, площади поперечного сечения потока и зависит от фильтрационной характеристики породы, т.е. от коэффициента фильтрации. Математически эта зависимость выражается формулой:

$$Q = K_{\phi} F \Delta H / L = K_{\phi} F J,$$

где Q м³/сут – расход воды или количество фильтрующейся воды в единицу времени; K_{ϕ} м/сут – коэффициент фильтрации, F м² – площадь поперечного сечения потока воды; ΔH разность уровней, L – длина пути фильтрации воды. Приведенная закономерность получила название основного закона фильтрации или закона Дарси.

Вместе с тем, если принять площадь поперечного сечения потока подземных вод равной единице, т.е. разделить обе части равенства на величину площади (F), то мы получим величину удельного расхода воды:

$$q = Q/F \text{ или } q = k_{\phi} J$$

При этом, величина q имеет двойной физический смысл- удельный расход и одновременно скорость фильтрации воды через данную породу и, следовательно, закон Дарси можно выразить и формулой:

$$V_{\phi} = K_{\phi} J,$$

где: V_{ϕ} – скорость фильтрации или приведенная скорость.

Нетрудно видеть, что если V_{ϕ} представляет собой величину скорости, а величина J безразмерна, то V_{ϕ} и K_{ϕ} имеют одинаковую размерность – размерность скорости (см/сек, м/сутки и т.д.), а величина коэффициента фильтрации (K_{ϕ}) будет численно равна величине скорости фильтрации (V_{ϕ}) при гидравлическом градиенте (J) равном единице.

Коэффициент фильтрации является одним из важнейших показателей для грунтов которые связаны с дорожным строительством, т.к. определяет водопроницаемость грунтов и, следовательно, их дренирующую способность.

По величине K_{ϕ} породы разделяют: 1) на высоководопроницаемые (более 1м/сут) – галечники, гравий, пески, трещиноватые породы и др.; 2) слабопроницаемые (1-0,001 м/сут) – глинистые пески, торф, пористые известняки, суглинки и др. и 3) непроницаемые (меньше 0,001м/сут) – глины, мерзлые породы, массивные скальные породы и др.

Величина K_{ϕ} в породах определяется в грунтоведческих лабораториях с помощью приборов, может так же устанавливаться в полевых условиях в массивах ненарушенных грунтов. В таблице 13 приводятся ориентировочные значения коэффициента фильтрации в различных горных породах.

Таблица 13

Ориентировочные значения коэффициента фильтрации

Горные породы	K_{ϕ}	Горные породы	K_{ϕ}
Скальные сильно трещиноватые	70-150	Супеси	0,1-0,7
Галечник	500	Суглинки	0,05-0,1
Гравий	100-200	Лессовидные суглинки	0,25-0,5
Песок крупнозернистый	20-75	Торф сильно разложившийся	0,01-0,15
Песок мелкий	1-5	Илы	0,0003-0,07

Коэффициент фильтрации, по существу, является численным выражением скорости фильтрации, которая характерна для той или иной породы. Однако не следует смешивать скорость фильтрации со скоростью движения частиц воды в горных породах. Первую иногда называют кажущейся или приведенной скоростью, а вторую действительной или истинной скоростью.

Среднюю скорость движения частиц воды можно получить, если расход воды отнести не к площади сечения потока подземных вод, а к сумме площадей отверстий (пор), по которым движется вода в породе, т.е. к пористости породы:

$$V_{уст} = Q / F n = V_{ф} / n,$$

где пористость (n) выражается не в процентах, а в долях единицы.

Ламинарный закон фильтрации (закон Дарси) справедлив при средней скорости движения подземных вод до 1000 м/сут или при скорости фильтрации до 400 м/сут. Эти величины значительно превышают скорости естественных потоков подземных вод в супесях, песках и даже крупнообломочных породах и могут встречаться только в крупных трещинах и пустотах. В большинстве случаев дорожные и аэродромные строители сталкиваются с ламинарной фильтрацией воды в грунтовых водоносных горизонтах.

Турбулентное движение воды в грунтах выражается формулой Шези:

$$V = C (R_r J)^{1/2},$$

где: V - скорость движения воды, см/сек,

C - коэффициент, зависящий от шероховатости стенок и некоторых других условий;

R_r - гидравлический радиус, равный площади сечения потока, поделенной на смоченный периметр, см;

J – гидравлический градиент.

Направление движения потоков грунтовых вод зависит от местных геологических условий, рельефа местности и других факторов. Направление и характер движений необходимо знать при устройстве дренажей и для водоснабжения. Потоки бывают плоские, радиальные (сходящиеся и расходящиеся) и криволинейные (рис.36). При определении направления потоков следует помнить, что установленное направление может отвечать только сравнительно ограниченной территории (или участка).

Направление потока можно установить по карте гидроизогипс. Эта карта характеризует поверхность (зеркало) слоя воды, т.е. рельеф зеркала (рис.37). Гидроизогипсами называют линии, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными отметками уровней зеркала безнапорных подземных вод. Для построения карты выполняют буровые скважины, измеряют в них уровни грунтовой воды. Полученные абсолютные отметки методом интерполяции соединяют в линии, т.е. в гидроизогипсы. Карты гидроизогипс совмещают с топографическими картами. Это видно на рис. 37, где показаны горизонталы (сплошные линии) и гидроизогипсы (пунктирные линии). По такой карте можно установить направление и скорость движения потоков грунтовых вод, а также глубину их залегания по разности отметок горизонталей и гидроизогипс (рис. 38).

Карты гидроизогипс позволяют установить характер связи грунтовых вод с поверхностными водами (рек, водохранилищ и т.д.). Они необходимы при проектировании водозаборов, в борьбе с процессом подтопления и др.

Более точное направление для отдельного участка можно получить по трем буровым скважинам (рис. 39), в которых определяют абсолютные высотные отметки грунтовой воды. Перпендикуляр, показанный на рисунке, отвечает направлению потока. Иногда применяют метод красителей. Для этого надо иметь несколько скважин. В центральную скважину вводят краситель. Появление красителя в одной из скважин указывает направление потока воды.

Источники. При строительстве автодорог естественные выходы на поверхность земли подземных вод в виде нисходящих и восходящих источников (ключей, родников) имеют существенное значение для решения вопросов водоснабжения. Наиболее часто источники располагаются в местах прорезания слоя подземных вод оврагами, речными долинами (рис.40), а часто и дорожными выемками.

По характеру выхода воды источники бывают сосредоточенные, когда выход осуществляется в одном месте в виде потока, и рассредоточенные – вода выходит на склоне рельефа путем просачивания на некотором участке. При расчистке этого места источник может стать сосредоточенным. Выход любого источника может быть расчищен, построена водосборная камера, подсчитано количество выходящей воды в единицу времени, т.е. определен дебит источника (в м³/сут). В таком случае источник называют каптированным.

15.2 Режим грунтовых вод

Это понятие о изменении качества, количеств и других параметров подземных вод во времени.

Качество воды имеет значение для водоснабжения. Вода во времени может значительно изменяться, как в силу природных причин, так и в результате техногенного воздействия. Последнее чаще всего приводит к ухудшению качества вод, которые получают известное загрязнение, а в ряде случаев даже становятся опасными для использования их в питьевых целях. Это бывает на территориях городских агломераций, а также в районах, где в сельском хозяйстве активно используются ядохимикаты и т.д.

Количество подземных вод связано с высотным положением их уровня во времени. Колебания уровней подземных вод можно разделить на сезонные и годовые (многолетние). Сезонные колебания уровней связаны с неравномерным поступлением в толщи пород атмосферных осадков и изменениями температуры воздуха в течение года. Наибольшие колебания приходится на весеннее снеготаяние и осенние дожди. Самое низкое положение уровней связано с концом лета и началом осени и концом зимы. Разность между наиболее высоким и самым низким уровнем называют максимальной величиной колебания. На уровни грунтовых вод всегда оказывают влияние разливы рек. При песчано-глинистых отложениях это сказывается на расстоянии до 0,5, а в породах с высокой водопроницаемостью до 2-6 км. Подъем уровней происходит с некоторым отставанием от колебания уровней воды в реках. Изменение уровней грунтовых вод на участках низких морских берегов связано с действием приливов и отливов.

Годовые колебания уровней подземных вод бывают связаны с другими причинами. Уровни повышаются или снижаются на ряд лет или, иначе говоря, практически на все последующее время. Это бывает связано с изменением климата, землетрясениями, вулканической деятельностью, сооружением крупных водохранилищ и другой техногенной деятельностью человека.

Режим грунтовых вод, т.е. прежде всего колебание их уровней (УГВ), имеет большое значение для автомобильных дорог и аэродромов. От этого фактора зависит устойчивость и нормальная эксплуатация объектов. Режим грунтовых вод обычно изучается в период инженерно-геологических изысканий под дороги (аэродромы), но за уровнями грунтовых вод необходимо вести наблюдение и в эксплуатационный период. Для этого используют наблюдательные (пьезометрические) буровые скважины. Дорожникам следует помнить, что колебания УГВ не имеют типовой характеристики, а бывают весьма различными, что, в частности, связано с рельефом местности. Поэтому дорожные трассы по типу режима грунтовых вод разбивают на отдельные участки – плато, склоны, террасы рек, поймы и для каждого участка определяется расчетное значение уровня грунтовых вод.

Процесс подтопления территорий (участков) наибольшее развитие получил на территориях городов, где в бытовых условиях и в промышленности имеет место большой водооборот. Значительная часть этих техногенных вод попадает в землю, что в конечном итоге приводит к повышению уровней грунтовых вод до глубины в 2-3м, от поверхности. При этом затапливаются подвальные помещения, подземные коммуникации, обводняются фундаменты зданий, грунты оснований теряют прочность.

Процесс подтопления нарушает устойчивость автомобильных дорог. На автодорогах этот процесс чаще всего проявляет себя за счет участков с близко расположенных орошаемых полей. Уровни грунтовых вод поднимаются и в таком положении остаются на длительное время. Подтопленные дорожные насыпи начинают деформироваться. В таких случаях сохранить дорогу в целях нормальной эксплуатации можно только путем снижения уровней вод. Это осуществляется с помощью дренажных сооружений. На таких участках в последнее время необходимо осуществлять постоянное наблюдение за уровнями грунтовых вод.

Грунтовые воды менее опасны для земляных насыпей, если их уровень в предморозный период ниже глубины промерзания земли в средних суглинках не менее, чем на 2 м, в легких суглинках и супесях – 1,5м и пылеватых песках – 1м.

Глава 16 Водозаборные сооружения

16.1 Общие положения

Водозаборы – это сооружения с помощью которых производится захват (забор) подземных вод. Эти сооружения необходимы: 1) для водоснабжения, т.е. удовлетворения потребностей в питьевой и технической воде и 2) понижения уровней (или полного отвода) подземных вод.

В гидрогеологии водозаборы делят на вертикальные, горизонтальные, комбинированные (лучевые) и каптажи. О каптажах говорилось выше. Вертикальные водозаборы в практике работ принято называть колодцами и относить к ним не только привычные всем питьевые колодцы, но и буровые скважины, а также шахты и строительные котлованы. Горизонтальными называют водозаборные сооружения, длина которых значительно (в несколько раз) превышает их ширину, в частности, к ним относят дренажные системы, а также водосборные подземные галереи (кяризы). Соответственно, комбинированные водозаборы – это сочетание вертикальных горизонтальных водозаборов, которые работают совместно.

Помимо этого, различают совершенные водозаборные сооружения, вскрывающие водоносный горизонт полностью, на всю его мощность до водоупора, и несовершенные, вскрывающие водоносные горизонты лишь частично (рис.41).

По характеру эксплуатации водозаборные сооружения разделяются на добывающие и поглощающие сооружения.

16.2 Депрессионные воронки

При принудительной откачке грунтовой воды в целях водоснабжения или понижения уровней вследствие трения воды о частицы пород, при прохождении воды через поры, происходит снижение уровней в виде воронок. В плане воронки имеют форму близкую к кругу (рис.42). В разрезе воронки ограничиваются кривыми депрессий, кривизна которых возрастает по мере приближения к точке откачки.

Радиус депрессионной воронки называют радиусом влияния водозабора (R). Величина R зависит от водопроницаемости пород, глубины понижения уровня подземной воды (S) и других причин.

Таблица 14

Значения R в различных породах	
Породы	R, м
Песок мелкозернистый	50-100
Песок среднезернистый	100-200
Песок крупнозернистый	200-400
Галечники, гравий	400-600
Суглинки	Меньше 50

В таблице 14 приведены значения R в различных породах и наглядно показывается на рис.43. Хорошо видно, что R имеет наибольшие значения в хорошо водопроницаемых породах (гравий, крупнозернистый песок – 400-600м), где трение воды о частицы породы меньше, чем это наблюдается в слабопроницаемых породах типа суглинков (менее 50м). На рис. 44 показана взаимосвязь R и величиной S . Хорошо видно, что чем глубже размещается точка откачки воды тем больше величина R , но пределом заглубления этой точки служит водоупор. Таким образом максимальное значение S будет обеспечивать наибольшее значение R в данных геологических условиях.

Значения R входят во многие расчетные формулы при проектировании водозаборных сооружений. R можно определить: 1) по формулам, 2) бурением наблюдательных скважин и 3) по аналогии с действующими водозаборами. Из формул используют расчет Кусакина (для грунтовой воды):

$$R = 2S\sqrt{HK_{\phi}}$$

где S – понижение уровня по центру депрессионной воронки, м; H – мощность слоя грунтовой воды, м; K_{ϕ} - коэффициент фильтрации, м/сут. Бурение скважин дает точные значения, но это дорогостоящая и трудоемкая работа. На рис. 45 показано как это обычно выполняется в производственных условиях.

Установление границ депрессионных воронок имеет практическое значение при оценке фильтрационных свойств пород, выделении зон санитарной охраны, определения площадей, которые должны осушаться дренажами, при установлении расстояний между соседними водозаборными сооружениями (колодцами, дренажами и т.д.).

16.3 Водоснабжение

Для питьевых целей воду можно брать в оборудованных природных источниках грунтовых вод, которые бывают в районах дорог и аэродромов, а так же в специально построенных колодцах или пробуренных скважинах.

Отбор воды из колодцев аналогичен откачиванию ее из буровых скважин. Они являются наиболее распространенным типом водозаборных сооружений. Приток воды к этим водозаборам во время откачки происходит в форме радиального потока.

На рис. 46 показан разрез водозаборного колодца. До откачки уровень воды в колодце отвечает зеркалу грунтовой воды в данном месте. При откачке воды уровень в колодце понижается, вокруг колодца образуется депрессионная воронка. Производительность каждого колодца характеризуется его дебитом. Под дебитом колодца (скважины) понимается количество воды, которое он может дать в единицу времени при постоянном уровне воды в колодце и выражается, как $Q_{деб}$, м³/сут. Откачка воды из колодца более величины $Q_{деб}$ приводит к его осушению. Для того чтобы колодец снова нормально работал нужно определенное время.

Дебит колодцев определяется опытным или расчетным путем. Для совершенного колодца применима следующая формула:

$$Q_{деб} = \pi K_{\phi} \frac{H^2 - h^2}{\ln R - \ln r} \text{ м}^3/\text{сут},$$

где $\pi-3,14$; K_f – коэффициент фильтрации, H – мощность слоя грунтовой воды; h – столб воды в колодце; R – радиус депрессионной воронки и r – радиус колодца (в виде равновеликого круга). Совершенные колодцы воды дают больше, чем несовершенные. В том случае, если один колодец дает недостаточное количество воды, которое необходимо для удовлетворения питьевых и технических запросов, необходимо отрывать другой колодец. Для того чтобы каждый колодец давал воду в количестве $Q_{деб}$ необходимо между ними иметь расстояние более $2R$, т.е. депрессионные воронки их не должны пересекаться.

16.4 Понижение уровней грунтовых вод

Грунтовые воды могут мешать производству строительных работ или пагубно сказываться на эксплуатацию автодорог и аэродромов. Такие воды следует полностью отводить в сторону или понижать их уровни, т.е. осуществлять водопонижение. Полный отвод грунтовых вод из водоносного слоя осуществлять очень трудно. Поэтому борьбу с грунтовыми водами практически чаще всего ведут путем понижения их уровней.

Успешное водопонижение зависит от многих причин:

Водопонижение во времени. Уровни грунтовых вод можно понижать в период производства строительных работ, например, при отрывке глубоких дорожных выемок или котлованов для дорожных или аэродромных сооружений. Такое водопонижение получило название, как строительного водопонижения. Водопонижение, которое осуществляется практически в течение всего времени после окончания строительства, т.е. и в период эксплуатации сооружений, называется, дренажем. Это обеспечивает сохранение уровней грунтовых вод постоянно в пониженном состоянии.

Способы водопонижения. Уровни грунтовых вод можно понижать: 1) самотеком воды и 2) путем принудительной откачки.

Пути отвода грунтовых вод. Понижение уровней грунтовых вод дренажами осуществляют путем отвода вод, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

Виды дренажных устройств. Дренажные сооружения по своим конструкциям разделяются на открытые и закрытые.

Размещение дренажей по отношению к земляному полотну и на территориях аэродромов бывает различным, что связано с рельефом и геологическим строением местности, характером и направлением движения грунтовых вод.

Ниже дается характеристика некоторым видам способов водопонижения.

Самотек грунтовой воды всецело зависит от рельефа местности. Водоносный слой может быть частично прорезан дренажными канавами («висячие» каналы). Вода получает возможность стекать вниз по склонам, что приводит к снижению уровней в пределах депрессионных понижений. Открытый сток воды используется на участках дорог, проходящих по заболоченной местности. Для этого на придорожной территории отрывается несколько дренажных канав. Расстояние между ними устанавливается меньше двух радиусов депрессионных понижений (рис.47). Вода поступает в каналы, течет самотеком и сбрасывается в какие-либо понижения рельефа. Уровень грунтовых вод между канавами, т.е. под земляным полотном, существенно снижается, что позволяет надежно эксплуатировать дороги.

Принудительная откачка воды применяется при проходке глубоких дорожных выемок и котлованов под сооружения. Вода из специально отрытых колодцев (или пробуренных скважин) откачивается насосами. Такая откачка прекращается после устройства дренажных сооружений, которые надежно отводят воду из отрытых выемок. В дорожном строительстве принудительная откачка воды используется не часто.

Горизонтальное и вертикальное снижение уровней. На рис.48 показаны дренажные сооружения (откосные, подкюветные, головные), которые снижают уровни путем горизонтального отвода грунтовых вод. Рис.49 дает представление о понижении уровня грунтовой воды за счет сброса ее по вертикали в глубину грунтового массива. Такой способ водопонижения возможен, когда под первым водоупором залегает межпластовая безнапорная вода и этот водоносный слой не заполнен полностью водой. Для сброса в глубину используются буровые скважины, прорезающие первый водоупор до второго водоносного слоя. Такие скважины заполняются фильтрующим материалом (гравий, щебень, крупный песок), а устье скважин тампонируется глиной, так чтобы в скважины не попадала вода с глинистыми частицами, которые могут забить фильтр и скважину вывести из строя.

Закрытые дренажные устройства. Устраивать в районе дорог дренажи в виде канав (траншей) с открытым самотеком воды не всегда возможно и целесообразно. На дорогах и особенно на аэродромах наиболее часто уровни грунтовых вод понижают закрытым способом. Типичным для этих целей является закрытая дренажная траншея. На дно траншеи укладывается труба с прорезями, для того чтобы в нее поступала грунтовая вода и самотеком уходила в отведенное место. Это обеспечивает понижение уровня грунтовой воды по обе стороны траншеи. Траншея до высоты нормального уровня засыпается фильтрующим материалом (щебень, крупный песок и др.). Выше этого траншея заполняется глиной, чтобы в траншею не поступали загрязненные поверхностные воды, которые могут «заплыть» в фильтр. Такие закрытые траншеи успешно работают 30-40 лет, после чего они нуждаются в реконструкции.

Для автомобильных дорог, проходящих на склонах рельефа, устраивается откосный дренаж. Выше дороги закладывается закрытая траншея, которая работает по принципу головного дренажа, который перехватывает грунтовый поток.

Подкюветный дренаж сооружают для понижения уровня грунтовых вод, которые подтапливают основание автодороги и тем самым ослабляют прочность земляных насыпей. С двух сторон вдоль дороги закладываются закрытые дренажные траншеи, которые снижают уровень грунтовых вод под дорогой на расчетную величину.

Автомобильные дороги в сельской местности часто пересекают участки полей, которые подвергаются интенсивному орошению. Многолетнее орошение может приводить к повышению уровней грунтовых вод (до глубины 1-2м от поверхности земли). Проходящие рядом дороги попадают в условия подтопления. От подтопления можно защищаться головным дренажем, который размещается между дорогой и орошаемым полем.

Водопонижение на территориях аэродромов имеет свою специфику и отличается от подобных работ на автодорогах. Отличие заключается в следующем: 1) водопонижение уровней грунтовых вод производят по всей площади аэродрома, 2) дренажные сооружения строят до планировки земли на поверхности аэродрома и укладки дорожных одежд и 3) дренажи и канавы для отвода поверхностных вод, а так же осушители летных полос должны находиться в тесном взаимодействии.

На территориях аэродромов уровень грунтовых вод должен быть обязательно снижен. Самый высокий сезонный уровень грунтовых вод не должен сказываться на устойчивости грунтов в основаниях аэродромных одежд. Снижение уровней при потоках грунтовых вод достигается

головными дренажами, а при площадном подтоплении – систематическим дренажом, который представляет собой систему взаимосвязанных закрытых дренажных траншей. Они перекрывают всю территорию аэродромов и по которым вода уходит самотеком.

Глава 17 Количество и охрана подземных вод

Количество грунтовой воды – это объем свободной воды который содержится в водоносном слое. Грунтовые воды пригодные к использованию в народном хозяйстве относятся к ценным полезным ископаемым. Они находятся в движении и могут периодически возобновляться. Оценка количества имеет важное значение для водоснабжения. Ни один водозабор не может быть построен и пущен в эксплуатацию без предварительного подсчета количества воды. Тип водозаборного сооружения, варианты их размещения, режим работы и другие вопросы, связанные с использованием грунтовых вод для водоснабжения, решается на основе подсчета количества воды. При общей оценке месторождений грунтовых вод вводится понятие «запас». Это понятие комплексное и включает в себя кроме определения количества воды условия залегания и питания грунтовой воды, фильтрационные свойства пород, связь с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами и т.д. Определение величины запаса производится на основании степени гидростатической изученности месторождения грунтовых вод. Всего имеется четыре категории запасов: А, В, С₁ и С₂.

Категория А – запасы изучены, детально разведаны, выяснены условия залегания и питания водоносных горизонтов, определены фильтрационные свойства пород, установлена связь с другими водоносными слоями и поверхностными водами, а так же возможность пополнения эксплуатационных запасов.

Категория В – запасы грунтовых вод с детальностью, обеспечивающей выяснение основных условий залегания, питания и связи с другими водоносными слоями и поверхностными водами.

Категория С₁ – запасы разведаны и изучены в общих чертах.

Категория С₂ – запасы составлены на основании общих геолого-гидрологических данных подтверждающих опробованием водоносного слоя в отдельных точках.

При категориях А и В производится проектирование и строительство водозаборов. По категориям С₁ и С₂ грунтовые воды рассматриваются на предмет перспективного их использования в народном хозяйстве.

Охрана грунтовых вод. Строительная деятельности человека оказывает негативное влияние на природную среду, в том числе на подземные воды. В связи с этим в гидрогеологии образовалось новое направление – техногенная гидрогеология. Важнейшими задачами этого направления являются охрана подземных вод от истощения и загрязнения.

Истощение запасов подземных вод – это снижение запасов в процессе водоотбора без необходимого восполнения. Признаком истощения является прогрессирующее снижение динамических уровней эксплуатируемого водоносного слоя. Причина истощения запасов подземных вод заключается в чрезмерном отборе воды крупными водозаборами в условиях недостаточной обеспеченности питанием эксплуатируемого водоносного слоя.

Под влиянием длительной эксплуатации водозаборов подземных вод вокруг них образуются огромные депрессионные воронки, так называемые районные депрессии с наибольшим понижением уровней в их центре, т.е. на участках самих водозаборов. В качестве примеров возникновения таких районных депрессий можно привести следующее. Так в г. Мехико (Мексика) за

ряд десятилетий в результате Кафедральный собор опустился на 12,7 м. Аналогичное явление наблюдалось в г Бангкоке (Таиланд), где многие места города опускаются за год более чем на 10 см.

Загрязнение подземных вод – это изменения в их качестве, которые приводят к превышению допустимых норм концентраций отдельных компонентов и общей минерализации воды. Загрязнение может сделать воду непригодной для использования в питьевых целях.

Загрязнение подземных вод возникает за счет бытовых и промышленных стоков, бытовых свалок, утечек из канализационных систем, проникновения в землю с поверхностной водой химических удобрений и т.д.

Из всех подземных вод грунтовые воды и, в особенности, верховодки более всего подвержены загрязнению, т.к. они не защищены сверху слоями водоупорных глин от проникновения в них загрязняющих веществ.

Наиболее часто при эксплуатации водозаборов встречается химическое и бактериальное загрязнение подземных вод. Реже наблюдается радиоактивное, механическое и тепловое загрязнение. Кроме этого могут быть механическое и тепловое загрязнение.

Химическое загрязнение – наиболее распространенное и стойкое во времени. Оно бывает органическим (фенолы, нафтеновые кислоты, ядохомикаты и др.) и неорганическим (соли, кислоты, щелочи), а также токсичным (мышьяк, соли ртути, цинка, свинца и др.) и нетоксичным. Химическое загрязнение может иметь широкое распространение в хорошо проницаемых для воды грунтах и при значительных уклонах грунтового потока.

Бактериальное загрязнение выражается в появлении в подземных водах паточных бактерий. Это загрязнение может носить временный характер.

Радиоактивное загрязнение очень опасно, даже при очень малых концентрациях радиоактивных веществ. Наиболее вредным являются «долгоживущие» радиоактивные элементы (уран, радий и др.).

Механическое загрязнение – это попадание в подземные воды механических примесей (глинистые и песчаные частицы и пр.) Вода становится мутной.

Тепловое загрязнение связано с повышением температуры подземных вод в результате смешения с нагретыми водами. Чаще всего это бывают технологические сточные воды.

Меры борьбы с загрязнением. Для предотвращения загрязнения подземных вод разрабатывают инженерные мероприятия, включающие очистку сточных вод, создание безотходных технологий в промышленном производстве, оптимальное использование удобрений в сельском хозяйстве, строительство современных систем управления отходами производства и потребления и т.д. Важнейшей мерой предупреждения загрязнения подземных вод в районах водозаборов является создание зон санитарной охраны, т.е. территорий с особым режимом природопользования, при котором исключается любая возможность попадания загрязнителей в подземные воды.

Раздел IV Геодинамические процессы на земной поверхности

Глава 18 Общие положения

Различные инженерные сооружения, в том числе автомобильные дороги, аэродромы, городские пути сообщения и их инфраструктура располагаются по большей части на поверхности

земли или вблизи от нее на сравнительно небольшой глубине. Эта зона, которую называют геологической средой, постоянно видоизменяется под действием таких факторов, как работа воды, льда, ветра, сил гравитации, солнечной радиации, жизнедеятельность живых организмов, техногенная деятельность человека. Каждый из этих факторов в отдельности или в сочетании с другими порождает тот или иной процесс, который видоизменяет и преобразует самую верхнюю часть земной коры. Эти процессы принято называть геодинамическими, а их изучение является предметом геологической науки – геодинамики, а в применении к инженерной и прежде всего строительной деятельности человека – инженерной геодинамики, являющейся составной частью инженерной геологии.

Геодинамические процессы разделяются на процессы природные, вызванные геологическими силами и техногенные, появление которых связано с производственной деятельностью человека, последние могут быть названы инженерно – геологическими. Природные и техногенные процессы по своему происхождению и содержанию сходны и взаимно обусловлены. В последнее время в связи с настоятельной необходимостью противостояния глобальному экологическому кризису проявился значительный интерес экологов к изучению геодинамических процессов и явлений, что в свою очередь вызвало необходимость рассмотрения инженерно-геологических процессов, как геоэкологических.

При проектировании, строительстве и эксплуатации автодорог и аэродромов строитель-дорожник должен знать следующее: 1) какие процессы имеют место на территории проектируемого или строящегося объекта и 2) как они могут повлиять на его устойчивость и нормальную эксплуатацию. По каждому процессу необходимо устанавливать: 1) причину породившую данный процесс, 2) развитие его во времени, 3) цифровое изложение процесса для последующих расчетов в проектах, 4) меры борьбы с процессом в периоды строительства и эксплуатации, 5) влияние построенного объекта на природную среду, 6) меры борьбы с негативными последствиями.

В инженерной геологии большинство геодинамических процессов относят к числу опасных, т.е. приводящих или могущих привести к разрушению сооружений и даже к гибели людей. Степень опасности того или иного процесса зависит от скорости его проявления и объема. Важным является прогноз возможности проявления таких процессов и выработка профилактических защитных мероприятий, а при необходимости и аварийных способов защиты, если процесс начинает себя проявлять в опасном режиме. В своей производственной деятельности инженер-дорожник должен пользоваться специальными руководствами типа СНиПа 2.01.15-90 – «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов» (Москва, 1991г).

Глава 19 Процесс выветривания на земной поверхности

Поверхность земной коры находится под постоянным воздействием различных процессов, как созидательного, так и разрушительного характера. Разрушаются горные породы, искусственно созданные строительные материалы, изделия, конструкции и сооружения. На поверхности Земли постоянно происходит механическая дезинтеграция и химическое разложение всех минеральных образований. Этот сложный разрушительный процесс получил название «выветривание».

Факторами процесса выветривания являются инсоляция, колебания температур, приводящие к замерзанию и оттаиванию поверхностных и подземных вод, воздействие кислот и щелочей, разрушающее влияние корней растений и т.д. Интенсивность и характер воздействия факторов выветривания связаны с их «мощью», составом минеральных веществ, геологическим строением местности, наличием воды и т.д. Характер выветривания в большой степени зависит от климата. Например, в аридных районах выветривание зависит в основном от температурных изменений в диапазоне положительных температур. В полярных и высокогорных областях главной разрушающей силой является попеременное промерзание и оттаивание пород. В умеренных и особенно в тропических районах с теплым и влажным климатом основным фактором разрушения является химическое разложение минеральных тел.

Наличие и интенсивность действия факторов выветривания во многом обусловило появление такого понятия, как «дорожно-климатические зоны», которые отражены в одном из важнейших для инженера-дорожника документе – СНиП 2.05.02-85 «Автомобильные дороги».

Наиболее сильно выветривание проявляется у поверхности земной коры, до глубины куда имеют доступ факторы выветривания. Проникновению в глубину факторов выветривания способствуют пористость и трещиноватость горных пород. Считают, что область современного выветривания достигает глубины 5-10 м. Проникновению в землю факторов выветривания способствует так же техногенная деятельность человека (проходка шахт, тоннелей, дорожных выемок, строительных котлованов, карьеров строительных материалов и т.д.)

В результате воздействия процесса выветривания у поверхности земли образуется кора выветривания. В ее состав входят видоизмененные горные породы, продукты их разрушения и вновь образованные минеральные вещества. Вся эта масса продуктов выветривания, оставшаяся на месте своего образования, носит название «элювий». На рис. 50 схематично показано строение коры выветривания. Под корой выветривания залегают коренные породы, т.е. породы на которых образовалась кора выветривания.

Следует отметить, что в процессе многолетней эксплуатации незащищенные от выветривания строительные изделия (кирпич, бетон, асфальт и т.д.) так же возникает кора выветривания. На их поверхности образуются микрослои из продуктов их разрушения.

Виды выветривания. Процесс выветривания разделяют на три вида – физическое, химическое и биологическое. В основу выделения каждого вида выветривания положен, какой либо один фактор выветривания, который является определяющим. Несмотря на это все три вида выветривания всегда действуют совместно и одновременно.

Физическое выветривание выражается преимущественно в механическом дроблении минеральных тел (горных пород, строительных материалов и т.д.) без существенного изменения их минерального состава. Большую роль в этом «дробящем» разрушении играют колебания температуры. Так, например, в пустынях суточные колебания температур весьма значительны, в дневное время до +80⁰С, а ночью всего +20⁰С. Это разрушает породы. Разрушение пород и дорожных конструкций усиливается, когда в микротрещины проникает вода. При замерзании вода увеличивается в объеме на 9-11%, развивается большое боковое давление и порода разрушается. Это явление обычно называют «морозным выветриванием». Многие породы, особенно глинистые, распадаются на куски при переменном намокании и высушивании. Физическое выветривание преобладает в пустынях и в районах с холодным климатом (арктика, горные районы и т.п.).

Химическое выветривание выражается в разрушении горных пород, строительных материалов и дорожных конструкций вплоть до уровня анионов и катионов и с одновременным образованием новых минеральных образований. Основными факторами этого выветривания являются вода, кислород, углекислота, органические кислоты и др. С этими факторами связаны многие химические процессы – растворение, окисление, гидратация, карбонитизация, гидролиз и т.д.

Интенсивность химического выветривания зависит от площади воздействия воды, ее температуры, длительности процессов. Наиболее подвержены этому выветриванию карбонаты, сульфаты и др. Наибольшую разрушительную силу химическое выветривание имеет в условиях теплого и влажного климата.

Биологическое выветривание иногда называют органическим. Оно проявляется в виде механического и химического воздействия живых и растительных организмов на земную поверхность.

Механическое разрушение производят растения корневой системой. Корни деревьев способны разрушать даже прочные скальные породы и бетонные плиты. Корни травянистой растительности легко разрушают слои асфальтового дорожного покрытия. Кроме механической силы разрушения корни растений обладают способностью разрушать горные породы и строительные материалы органическими кислотами, которые они выделяют как в период своего роста, так и после отмирания в процессах разложения. Существенно нарушают целостность горных пород различные землерои. Биологическое выветривание проявляет себя практически повсеместно, особенно, в районах с влажным климатом, который способствует росту и развитию растений.

В определенной степени к биологическому виду выветривания следует отнести техногенную деятельность человека, в частности, строительство автодорог и аэродромов. Эта деятельность разрушает всю поверхность земной коры.

Строительство автодорог и аэродромов осуществляется на горных породах, которые, подвергались воздействию процесса выветривания. Эти породы используются, как строительный материал. Поэтому во всех этих случаях горные породы следует оценивать по степени их выветрелости и делать выводы, насколько они пригодны для решения строительных задач. Степень выветрелости горных пород, да и строительных материалов, которые послужили в дорожных сооружениях ряд лет, необходимо оценивать коэффициентом выветрелости (K_v). Значение коэффициента получают отношением плотности выветрелой к плотности невыветрелой породы (материала). $K_v = 1$ – порода невыветрелая, при $K_v = 1-0,9$ – слабовыветрелая, $0,9-0,8$ – выветрелая и при K_v менее $0,8$ – сильно выветрелая (типа «рухляка»).

Борьба с процессом выветривания. Горные породы, строительные материалы, дорожные и аэродромные сооружения под действием процесса выветривания со временем утрачивают свое качество и постепенно разрушаются. Важно знать скорость процесса разрушения и что ему можно противопоставить. Существует много способов и приемов борьбы с выветриванием, но полностью исключить его воздействие практически не представляется возможным. Однако снижать до минимума разрушительную силу процесса выветривания вполне возможно и необходимо. Это существенно продлевает время нормальной эксплуатации сооружений.

При строительстве и эксплуатации автодорог и аэродромов рекомендуются следующие мероприятия по борьбе с процессом выветривания:

- 1) применение в строительстве наиболее качественных по свойствам и по стойкости к выветриванию горных пород строительных материалов,
- 2) своевременно выполнять и поддерживать необходимую планировку поверхности земли и систему отвода поверхностных вод в полосе автодорог и на территориях аэродромов,
- 3) при необходимости в целях борьбы с подземными водами строить дренажные сооружения,
- 4) в выемках скальных пород цементировать трещины,
- 5) производить посадку деревьев и посев трав на откосах земляного полотна,
- 6) важнейшим условием в борьбе с процессом выветривания является высокое качество строительных работ и постоянный контроль за состоянием сооружений.

Глава 20 Геологическая деятельность ветра

На поверхности Земли постоянно дуют ветры, совершая при этом определенную геологическую работу. Процессы, изменяющие поверхность земной коры под действием ветров, называют эоловыми (по имени древнегр. бога ветра – Эола).

Геологическая работа ветра свойственна всей поверхности Земли, но наиболее сильно она проявляется в пустынях, долинах рек и на морских побережьях. Нередко ветры носят ураганный характер. В качестве примера можно привести район г Новороссийска, где была отмечена скорость ветра до $50-60$ м/с и несколько более. Чтобы представить последствия таких ураганов достаточно сказать, что уже при $16-18$ м/с ветер может срывать крыши домов, а при $19-21$ м/с – вырывать с корнями деревья.

В целом процесс геологической деятельности ветра можно разделить на три вида работы: 1) разрушение земной поверхности, 2) перенос и 3) отложение продуктов разрушения.

Разрушительная деятельность ветра проявляется в виде дефляции и корразии. Дефляция – это разрушение горных пород за счет выдувания из нее отдельных частиц механической силой ветра. Выдувание наиболее сильно проявляется в рыхлых и мягких породах, таких как суглинки, супеси, пески, солончаки. При этом выдуваются котловины, борозды, каналы. Имеется случай, когда котловина имела длину до 140 км, ширину от 2 до 10 км и глубину $100-150$ м. Интенсивно могут

выдуться слои почв. Активность выдувания возрастает после нарушения дернового покрова и вырубки кустарников и деревьев. Котловина выдувания показана на рис. 51.

Коррозия (обтачивание) – это разрушение горных пород, строительных материалов и сооружений под постоянными ударами по ним частиц песка, пыли, а иногда и гравия, которые переносит ветер. Ударяясь о препятствия, частицы обтачивают поверхность, выбивают углубления. За счет коррозий в пустынях разрушаются столбы электропередач, дорожные насыпи, железобетонные элементы дорог (рис.52).

Перенос продуктов разрушения. Во взвешенном состоянии ветер переносит в основном глинистые и пылеватые частицы. Перенос может достигать сотни и тысячи километров. Частицы песка ветер перемещает перекатыванием по поверхности земли. Длина пути составляет сотни метров, иногда несколько километров, все зависит от скорости ветра.

Отложение продуктов разрушения (аккумуляция). При уменьшении скорости (или вообще после прекращения) ветра происходит отложение переносимого материала. Так образуются ветровые (эоловые) отложения. В большинстве случаев это отложения песка или пыли.

Для автодорог и аэродромов передвижение в воздухе пыли приводит к потере его прозрачности, но это бывает непродолжительное время. Передвижение в воздухе (или перекатыванием по земле) и накопление песков для автодорог и аэродромов имеет существенное значение.

Эоловые пески разделяют на закрепленные и подвижные. Закрепленные пески распространены в полупустынях. Это так называемые грядовые и бугристые пески. Их движение остановлено растительным покровом. Подвижные пески под действием ветра могут перемещаться, что делает их опасными для автодорог и аэродромов. В пустынях это барханы, (рис.53) сложенные песком. Известны случаи, когда скорость движения барханов составляла несколько метров в сутки. Такие пески легко засыпают не только дороги, но и целые территории. На берегах морей и в речных долинах подвижные пески образуют дюны в виде холмообразных накоплений, высота которых иногда бывает до 20-40м и даже более. Эти холмы передвигаются за счет перекатывания песчинок с одной на другую сторону холма. Скорость движения небольшая (до 10 метров в год), но песок может накрыть дорогу с последующим увеличением его количества. Дюны обычно создают цепь холмов (рис.54).

В конце XX века при изучении пустыни Сахары было установлено, что пески под действием ветров могут перемещаться не только в виде барханов и дюн, имеются другие способы движения – площадные. Эти площадные формы песков были названы «шевронами». Они имеют длину в несколько километров, ширину в сотни метров и толщину слоев песка до 10 см. Шевроны слагаются из очень тонких песков и могут перемещаться в отличии от барханов и дюн скоростью до 500 метров в год.

Строительство и эксплуатация автодорог и аэродромов в районах, где дуют сильные и постоянные ветра, требуют применения защитных мероприятий, т.к. возведение земляного полотна изменяет условия движения ветропесчаного потока. В образовавшихся у дорог зонах затишья возникают песчаные отложения, а в местах образования воздушных завихрений возможно выдувание песка и глинистых частиц, из которых отсыпаны дорожные насыпи. Поэтому откосы земляного полотна и выемок необходимо укреплять слоями глины, камнем, плитами. Все дорожные и аэродромные конструкции должны обладать повышенной прочностью, для того чтобы они могли противостоять коррозиям. С подвижными песками следует бороться постоянно.

Движение дюн можно останавливать посадкой деревьев. Хорошо приживаются на них хвойные деревья. Сложнее останавливать движение барханов. Для этого используют следующие мероприятия:

1) в пределах полосы отвода дороги планируют поверхность земли, насыпи делают не высокие, что позволяет ветру переносить песок через дорогу;

2) вдоль дороги осуществляют посев трав и посадку широкой полосы песколюбивых кустарников (саксаул, черкез, кандым); для создания таких полос требуются годы;

3) создание механической защиты в виде ограждений дорог деревянными щитами, создающими зоны затишья, где откладывается песок; за работой таких ограждений необходимо постоянное наблюдение;

4) для закрепления движущихся песков возможна их пропитка твердеющими растворами, например, битумными эмульсиями.

При строительстве автодорог и аэродромов важное значение имеет определение направления ветров. Для этого используют розу ветров, представляющую собой схему, показывающую направление основных ветров на данной территории в какой-то отрезок времени (года, ряда лет, постоянно).

Глава 21 Геологическая деятельность поверхностных вод

21.1 Процессы, обусловленные с временными водными потоками

В процессе круговорота воды в природе атмосферные осадки выпадают на земную поверхность, стекают по ней, и образуют временные водные потоки. Такие же потоки возникают при сезонном таянии выпавшего снега и образовавшегося в зимний период льда. Вода этих потоков в течение относительно короткого отрезка времени растекается по поверхности земли в сторону понижений рельефа, совершая при этом геологическую работу- разрушают горные породы, переносят и откладывают продукты разрушения, создают специфические формы рельефа. Разрушающее (размывающее) действие текучей воды носит наименование «эрозии».

По характеру движения временные потоки поверхностных вод делят на плоскостные и струйчатые.

При плоскостных потоках вода по поверхности земли стекает в виде многочисленных мелких струек, которые образуют фактически сплошной поток. Такой поток одновременно размывает всю поверхность земли. Это «плоскостная эрозия». Плоскостной поток в соответствии с рельефом местности постепенно разбивается на отдельные струи (ручьи), которые начинают размывать землю в отдельных полосах. Это уже «струйчатая эрозия». Это приводит к образованию промоин и оврагов (рис. 55).

В процессе геологической деятельности поверхностные воды формируют современные наносы, образуют овраги, порождают селевые потоки и снежные лавины.

Современные наносы. Продукты выветривания пород (или иначе говоря элювий) плоскостными потоками воды смываются с возвышенностей рельефа на склоны и к их подножию. В перемещении принимают участие в основном глинистые, пылеватые и песчаные частицы. Со временем на склонах и в пониженных частях рельефа образуются современные наносы.

Отложения на склонах носят название делювиальных наносов (делювия), в понижениях рельефа – пролювиальных наносов (пролювия) (рис.56).

Делювий (dQ) покрывает пологие склоны и литологически представлен суглинками, супесями, иногда песками с включениями щебня. На равнинах это чаще всего суглинки и супеси. Мощность делювия возрастает к основанию склонов, достигая в горных районах десятки метров, а на равнинах – нескольких метров. Делювиальные наносы практически всегда входят в сферу строительства автодорог. Для этих отложений характерны оползневые процессы.

Пролювий (pQ) представляет собой более разнохарактерные по литологическому составу и геологическому строению наносы. В многометровых толщах суглинки и супеси нередко переслаиваются с песками, щебнем. Пролювиальные отложения большое развитие имеют в подошвах горных склонов (предгорные шлейфы). Большое количество пролювиального материала своим образованием обязаны грязекаменным потокам (селям), а также временным потокам в устьях оврагов.

Овраги. Это глубокие промоины на склонах рельефа, которые образуются в результате эрозионной деятельности временных потоков поверхностных вод. Овраги типичны для равнин и наиболее активно вырабатываются в легко размываемых осадочных породах. Так, в степных районах, где очень большое распространение на поверхности Земли имеют лессовые образования, овраги имеют исключительно широкое развитие. В тех случаях, когда овраг достигает значительной

глубины, вскрывается подземная вода. В таком овраге возникает постоянный водоток, что усиливает его развитие.

На рис. 57 и 58 показан овраг в плане и продольном разрезе. В овраге различают вершину, устье, ложе и борта. Растет овраг движением от устья вверх по склону и при этом углубляется и расширяется за счет размыва ложа и бортов. Развитие оврага заканчивается, когда дальнейший размыв ложа становится невозможным в связи с тем, что абсолютная отметка низшей точки устья сравнялась с уровнем бассейна (озера, реки и т.д.), в который впадает водоток оврага. Этот уровень называют базисом эрозии.

Все овраги разделяются на активные, т.е. развивающиеся, и неразвивающиеся, которые называют балками. Активный овраг имеет небольшую ширину в сравнении с глубиной, борта обрывистые и без растительности. Балки – это овраги, которые прекратили свое развитие, но оно может возобновиться, если снизится уровень базиса эрозии. На рис.59 показана балка в степном районе. В устье оврагов и балок всегда располагаются наносы, так называемый конус выноса, состоящий из продуктов размыва в виде песчано-глинистого материала. Скорость размыва оврагов зависит от рельефа местности, характера размываемых пород и активности водотоков. На равнинах в лессовом покрове она может быть от метров до десятков метров в год.

Активные овраги опасны для автодорог и аэродромов. На сегодня существует много способов борьбы с оврагами. Меры борьбы можно разделить на два вида. С одной стороны они являются профилактическими, т.е. останавливают развитие оврагов, с другой стороны, направлены на ликвидацию оврагов. В первом случае осуществляют следующие мероприятия: 1) вершины оврагов оконтуривают системой водоотводящих (нагорных) облицованных канав, что исключает доступ воды в овраги, 2) вершины оврагов бетонируют, 3) вдоль продольной оси оврагов ставят поперечные стены, которые гасят скорость размывающей воды, 4) рядом с дорожными насыпями, которые пересекают овраги и имеют водопропускные трубы, борта оврагов укрепляют стенами или облицовывают плитами. Мелкие овраги глубиной до 2 м можно засыпать землей, но это дает эффект только в том случае, если этот участок окружен хорошей системой отвода поверхностных вод. В противном случае овраг может возобновить свое развитие.

В борьбе с оврагами всегда следует использовать посадку древесной растительности. В период эксплуатации автодорог и аэродромов необходимо проводить постоянное наблюдение за состоянием оврагов и балок.

Селевые потоки. Сель или сль – (от араб. сайль - горный, быстро несущейся поток). Сели типичны горным районам и возникают высоко в горах в результате обильных дождевых ливней или быстрого таяния снегов и ледников. При этом в русле относительно небольшой горной речки в результате оползней, обвалов или осыпей может возникнуть естественная плотина, за которой образуется горное озеро, Плотина с течением времени не выдерживает все возрастающего напора воды и прорывается. В результате масса воды вместе с массой пород, слагавших тело плотины, ущелье, мощный поток, который смывает и захватывает элювий и делювий. В результате водный поток превращается в грязекаменную массу, т.е. сель.

Селевые потоки возникают внезапно, особенно для районов расположенных у подножья гор, действуют в течении короткого промежутка времени, не превышающего несколько часов. Общий объем грязекаменных материалов, смываемых за один сель, может достигать 20000м³ с 1 км². Диаметр переносимых валунов иногда достигает 1-1,5м и больше.

История помнит немало случаев катастрофических селей. Так например, в 1921г в г.Алма-Ата (Казахстан) селевым потоком была разрушена значительная часть города, на площадь которого было вынесено около 1,5 млн. тонн каменных обломков. Напомним в селе прошлого века на Северном Кавказе. Сель возник, как всегда после обильных дождей высоко в горах. Рано утром раздался гул, и на селение обрушился грязекаменный вал. Деревья и дома были снесены, во многих местах автодорога превратилась в глубокую траншею (рис.60).

Район, где возникает сель, в целом называют селевым бассейном. На рис.73 показана схема бассейна, в котором выделяют три зоны: 1) площадь водосбора (область питания), 2) путь движения селя (канал стока или транзитная зона) и 3) область отложения каменного материала в виде конуса выноса, состоящего из пролювия.

Разрушительное действие селевых потоков обусловлено большими скоростями движения и наличием в них обломков горных пород. Скорость движения может достигать 6-8 м/с. на своем пути сели выработывают глубокие русла. В сухое время года эти русла бывают сухими или содержат небольшие ручьи.

Селевые потоки бывают связные и несвязные. К связным относят грязекаменные потоки, в которых вода практически не отделяется от твердой части, имеют плотность 1,5-2 т/м³ и обладают сокрушительной силой разрушения. Несвязные сели называют водокаменными. Вода переносит каменный материал и по мере уменьшения скорости оставляет его в русле (ущелье) или в области конуса выноса в предгорной части, где населенные пункты и дороги оказываются погребенными под толщей грязи, песка и камней.

Селевые потоки часто проявляются в горах Кавказа, Урала, Сибири, Алтая и т.д. При строительстве автодорог в районах предгорий всегда определяют селеопасные направления. Следует учитывать, что в последние десятилетия сели стали появляться там, где их раньше не было. Чаще всего это связано с вырубкой горных лесов, нарушением дерновых покровов в силу массового выпаса скота.

Сели разрушают автодороги и мосты в ущельях и на выходе из гор. Проезжая часть автодорог покрывается слоем грязи и камней. Такие дороги требуют больших восстановительных работ.

Борьба с селями носит защитный характер. В ущельях ставят поперечные стены для гашения скорости движения селей, создают каналы для отвода селевых потоков в соседние котловины (селехранилища). На участках конусов выноса берега рек забирают в высокие стены, чтобы поток не разливался по площади, мосты делают с большой водопропускной способностью, над дорогами устраивают железобетонные желоба (селедуки), по которым может скатываться селевый поток, и многие другие мероприятия.

Строительство дорог и размещение аэродромов в селеопасных районах требует тщательных инженерно-геологических изысканий. Обследованию подлежат: 1) селесборный бассейн, 2) путь движения селевого потока и 3) конус выноса селевого материала. Селевый бассейн можно обследовать аэрофотосъемкой, путь движения, конус выноса и места строительства противоселевых сооружений изучают геологическими разведочными работами. При обследовании конуса выноса определяются границы растекания селя, т.е. площадь, которую может занять сель своим обломочным материалом.

В результате инженерно – геологических изысканий селевого района создается карта конуса выноса и несколько геологических разрезов. На базе этого устанавливается место и способы пересечения конуса выноса с автодорогой. Опыт показал, что наиболее рациональным решением является прокладка трассы автодорог через низовой участок транзитной зоны. Для этого иногда бывает достаточно ограничиться строительством моста с одним пролетом.

Снежные лавины. На высоких горных хребтах постоянно накапливается снег, образуя нависающие над склонами большие карнизы. Под действием собственной тяжести масса снега находится в весьма неустойчивом состоянии. В определенный момент от перегрузки, порыва ветра и даже от звукового колебания воздуха огромная масса снега приходит в движение и обрушивается вниз по склону, захватывая при этом обломки горных пород (рис.61). Так образуются снежные лавины.

Снежные лавины бывают сухие и мокрые. Сухие лавины представляют собой сухой, рыхлый снег. При обрушении скорость его движения колеблется от 100 до 400 км/ч, образуется огромное облако снега. Мокрые лавины – это движение мокрого снега. Такие лавины связаны с периодом оттепелей, скорость их движения несколько ниже – от 20 до 50 км/ч.

Лавины при своем движении перед массой снега гонят воздушную волну, которая обладает огромной разрушительной силой. Сама лавина по мере движения вниз захватывает новые массы снега и большое количество обломков горных пород. В летнее время после таяния снега лавин у подножия гор остаются большие каменные завалы. Лавины на своем пути сносят леса, здания, сооружения, дороги, покрывают территории многометровой толщей снега. Сила удара снежных лавин может достигать 60 т/м².

В России крупные снежные лавины возникают в горах Кавказа, на Кольском полуострове, Алтае и везде создают большие сложности с эксплуатацией автомобильных дорог. Практически каждый год лавины перекрывают движение автотранспорта на Военно-Грузинской дороге. Лавина, сошедшая в 1966 на Алтае уничтожила лес на площади 40 га. В 1970 г в Перу сошла лавина объемом 50 млн.м³, прошла 15 км со скоростью 320 км/ч и уничтожила г. Юнгай, в котором из 20 тысяч жителей уцелело лишь несколько сот человек.

При инженерно-геологических изысканиях под автодороги определяют лавиноопасные участки, устанавливают пути и границы движения лавин. В этой работе большую помощь оказывает аэрофотосъемка, с помощью которой оконтуриваются места снегосборов, пути схода лавин, конусы выноса. Инженерно – геологические работы проводят в полосе от водораздела до места схода лавин в масштабе 1: 25000. При этом описывают крутизну и характер склонов гор, форму долин и т.д. В итоге создается лавинная карта, где отражается лавиноопасный участок с описанием режима лавинной деятельности. Кроме карт, характеризующих отдельные лавиноопасные участки, в России имеется карта, на которой показаны все места возможных снежных лавин

На лавиноопасных участках автодороги необходимо защищать. Способы защиты разнообразны и зависят от особенностей рельефа и характера движения лавин. Особое внимание уделяется мерам предупреждения. Дорожники постоянно ведут наблюдение за склонами гор, периодически искусственно малыми порциями производят обрушение снега, обстрелом из минометов и орудий, противолавинными ракетами, ставят ограждающие стены, сооружают на опасных участках дорог каменные или железобетонные галереи, что обеспечивает безопасное движение транспорта.

21.2 Геологическая деятельность речных вод

Реки представляют собой постоянные водотоки, текущие в разработанных ими долинах. Они являются главными путями стока воды с материков в моря и океаны. Крупные реки имеют притоки в виде малых рек и ручьев. Площадь, с которой вода стекает в данные крупные реки, называется водосборным бассейном или речным бассейном. Самым большим бассейном обладает р.Амазонка (около 7 млн.км²). Бассейн р.Волги составляет 1,4 млн. км².

Автомобильные дороги постоянно пересекают речные долины либо проходят в их пределах. Геологическая работа рек оказывает при этом существенное влияние на строительство и эксплуатацию дорог и дорожных сооружений.

Для пересечения каждой речной долины строят систему сооружений, называемую переходом водотока. В состав перехода входят: 1) искусственное сооружение (мост), служащее для преодоления водотока, 2) подходы к сооружению, устраиваемые обычно в виде земляных насыпей, откосы которых постоянно или периодически омываются водой реки, 3) регуляционные и защитные сооружения, предназначенные для предохранения искусственного сооружения и подходов к нему от возможных повреждений водным потоком.

Реки, как постоянные водотоки на пути своего движения совершают определенную геологическую работу: 1) разрушают (размывают) горные породы – эрозия, 2) переносят продукты разрушения (транспортировка) и 3) откладывают их (аккумуляция) в виде речных наносов, которые называют аллювием (alQ).

Эрозионная деятельность рек. В процессе эрозии реки на поверхности земли вымывают корытообразные углубления, которые называют речными долинами. На рис. 62 показано, как река за счет эрозии углубляет свою долину, вырабатывает продольный профиль.

Различают реки горные (молодые) и равнинные (старые). Горные реки питаются ледниковой водой, имеют большие уклоны дна и скорость воды, их долины (ущелья) узкие, симметричные, в геологической работе преобладает донная эрозия, т.е. долина продолжает углубляться, переносимый обломочный материал (аллювий) почти весь поступает в морской бассейн.

Равнинные реки питаются подземными и поверхностными водами; имеют сравнительно небольшие уклоны; медленное течение воды; широкие асимметричные, за счет вращения Земли, долины; в их работе преобладает боковая эрозия, т.е. происходит в основном размыв берегов; русла по дну долин блуждают (меандрируют); обломочный материал (аллювий) большей частью

оседает в русле реки, в силу чего река мелеет, появляются отмели. В долинах старых рек всегда бывают старицы - старые русла рек, в которых вода стоит, как в озерах (рис. 63).

На рис.64 показаны элементы речных долин: 1) русло – часть долины, занятая водой реки, 2) пойменная терраса (пойма) – часть долины, примыкающая к реке и заливаемая водой в половодье и 3) склоны долины, содержащие уступы, которые свидетельствуют, что они в свое время были пойменными террасами. Это надпойменные террасы, которых может быть несколько. Они тянутся вдоль реки на более или менее значительные расстояния и их часто используют для проложения автомобильных дорог. Террасы имеют высоту над уровнем воды в реке от метров до десятков метров и ширину от десятков метров и более.

Для строителей автодорог важно различать характерные уровни воды в реке: 1) расчетный горизонт высоких вод, отвечающий средним из наибольших уровней реки, наблюдавшихся в течение многих лет, 2) наивысший горизонт высоких вод; выше этого уровня по многолетним наблюдениям вода не поднималась и 3) меженный горизонт – низкий уровень воды.

Геологическое строение речных террас. На рис.65 показаны три типа геологического строения террас. Террасы сформированные горными реками в скальных (коренных) породах называются эрозионными. Аллювиальный материал присутствует только в руслах. Террасы, в которых коренные породы перекрыты маломощными слоями аллювия, именуют цокольными. В тех случаях, когда надпойменные террасы сложены из аллювия, их называют аккумулятивными. Аккумулятивные террасы типичны для рек равнин.

Геологическое строение речных долин имеет важное значение при прокладке автодорог и, особенно, при сооружении мостов и подходов к ним.

Эрозия берегов. Для автодорог, расположенных в речных долинах, серьезную опасность представляет размыв берегов рек, т.к. приводит к их обрушению, сокращению площади берегов, появлению оползней. В долинах горных рек берега размываются очень медленно и дорожные сооружения стоят достаточно прочно. Донная эрозия наиболее опасна для опор мостов, поэтому они должны иметь достаточное заглубление. Иначе обстоит дело в долинах рек равнин. Берега размываются постоянно, т.к. они обычно сложены рыхлыми осадочными породами (рис.66).

В связи с тем, что русла меандрируют размыв берегов происходит на отдельных участках, которые располагаются то на одном, то на другом берегу. Места и скорость размывания зависят от течения реки. Так, например, р. Кубань у г. Краснодара в отдельных местах размывала берег, сложенный лессовыми породами, со скоростью до 20м/год.

При размыве берегов автодороги следует прокладывать как можно дальше от реки. При необходимости берег можно защищать подпорными стенами, наброской бутового камня, укладкой железобетонных плит. Укреплять, или точнее сохранять, берег можно отводом течения (рис.67). Для этого в руслах ставят струенаправляющие стены, делают каменную наброску или фашинные туюфяки, нагруженные камнем.

Следует учитывать, что в долинах размываются не только берега рек. Эрозионные действия оказывают паводковые воды на склонах долин. От таких размывов можно защищаться земляными дамбами, наброской камня и другими способами.

Перенос рекой обломочного материала. Реки переносят 25-30% всего материала в растворенном виде, а остальную массу – во взвешенном. В зависимости от скорости потока вода транспортирует обломки разного размера – от крупных валунов до глинистых частиц. Пылевато-глинистые и тонкопесчаные частицы реки переносят на большие расстояния, даже если это спокойные равнинные реки.

Аллювиальные образования. Состав и мощность речных наносов весьма разнообразны. Это связано с различной скоростью потоков в течение года, ряда лет, а также с составом тех пород, которые реки где-то размывают. Это приводит к накоплению в одной и той же части долины осадочных толщ пестрого литологического состава. Горным рекам свойственны крупнообломочные накопления, а равнинным – песчано-глинистые осадки.

Мощность аллювиальных накоплений колеблется от метров до десятков метров. Так, например, в долине средней Волги это 20м, а в долине р.Дон у Ростова – 25м.

По характеру осадков и месту накопления речной аллювий разделяют на дельтовый, русловый, пойменный и старичный. В дельтах рек накапливаются песчано-глинистые осадки. В руслах рек накапливаются пески, галечники, гравий, валуны. Поймы содержат суглинки, глины, мелкозернистые пески и чаще всего в присутствии органического материала. Отложения стариц – это илы, в которых много органического материала. Нередко такие илы содержат примесь тонкозернистого песка.

Строительные свойства аллювиальных образований очень разнообразны и противоречивы. Они практически всегда насыщены водой, находятся в рыхлом состоянии, а суглинки и глины могут быть на грани пластичного и даже текучего состояния. В более плотном виде бывают только древние аллювиальные осадки, даже илы. Типичным качеством для аллювиальных толщ является многослойность, с наличием линз и пропластков. В целом аллювиальные образования для строительства и эксплуатации автодорог являются сложной средой, хотя могут широко использоваться, как строительный материал (песок, гравий, галечник).

21.3 Геологическая деятельность морей, озер и водохранилищ

Берега морей, озер и водохранилищ часто служат местом для проложения автомобильных дорог и строительства дорожных сооружений. Строительство и эксплуатация этих объектов на берегах водных бассейнов имеет свои специфические особенности. Для краткости изложения слова «море» и «океан» объединяют в термин «море».

21.3.1 Морские бассейны

Моря – это одна из главных геологических сил, преобразующих верхнюю часть земной коры. Площадь морских бассейнов в 2,4 раза больше площади суши, в них сосредоточено огромное количество воды ~около 1,4 млрд. км³. Эта огромная масса воды находится в непрерывном движении, совершая определенную геологическую работу.

На моря существенное влияние оказывает тектоническая деятельность земной коры. В течение миллионов лет моря как бы перемещаются с одного места на другое. Это приводит к тому, что в одних местах берега поднимаются, как бы выходят из моря, а море при этом отступает от берега. Такое движение моря называется регрессией. В других местах берег опускается, погружается в море. Этот процесс называется трансгрессией. Движение берегов имеет принципиальное значение для строительства автодорог и аэродромов. При регрессии моря эти сооружения сохраняют устойчивость, и море им не угрожает. При трансгрессиях, вследствие погружения берегов под уровень моря, берега подвергаются активному размыву, т.е. абразии (от лат. – соскабливать).

Тектонические движения земной коры и абразия берегов формируют их геологическое строение. На рис. 68 видно, что берег и прибрежная подводная часть моря содержат террасы. У самой воды располагается пляжная зона. Эта часть берега перекрывается максимальной волной (или приливом в океане). Выше пляжа располагаются уступы – это морские надводные террасы, каждая из которых в свое время была пляжем, и поднялись они вверх в период регрессии моря. При трансгрессии моря террасы располагаются у берегов на дне. Прибрежную мелководную часть моря до глубины 200 м называют шельфом. При трансгрессии моря пляжи всегда узкие или даже совсем отсутствуют. Это хорошо наблюдается на берегах Черного моря в район Туапсе – Сочи. Такие берега подвергаются воздействию активной абразии (рис.69).

Абразия морских берегов – это размыв берегов, совершаемый прибойными волнами, приливами и отливами, а также вдольбереговыми течениями.

Прибойные волны бьют в берег непрерывно и с большой разрушительной силой. Волны при штормах перекатываются через пляж. При трансгрессиях берега всегда обрывистые или с очень крутыми откосами, и постепенно за счет размыва отступают в глубину суши, т.е. волны как бы съедают сушу. Скорость такого процесса от сантиметров до нескольких метров в год. На скорость размыва влияет два фактора: 1) тип горных пород и 2) сила механического удара волн. Наиболее медленно разрушаются скальные породы. Удары волн достигают силы 5-6т/м², а на берегах океанов даже до 10т/м² и более. В качестве примеров можно привести скальные берега черного моря

(Туапсе-Сочи) – скорость размыва достигает 4 м/год, и берега Азовского моря, сложенные из суглинков – до 10-12 м/год.

При ширине пляжей более 20м волны свою энергию гасят в их пределах, но это типично для регрессии моря. Следует отметить, что кроме механической силы морская вода оказывает на горные породы и строительные материалы химическое воздействие (растворение). Процесс разрушения усиливают морские растения и организмы, так например, планктон, создавая слои обрастания, может разрушать не только горные породы, но и бетон. Разрушительная сила волн усиливается так же ударами галечника, гравия и песка в горные породы берегов и защитные сооружения.

Морские отливы – приливы не обладают такой разрушительной силой, как волны, но их воздействие на горные породы вполне ощутимо, хотя этот процесс проявляется в основном в виде трения обломков (частиц) друг о друга. Приливы и отливы в России проявляются в морях Тихоокеанского бассейна.

Вдольбереговые течения имеют незначительные скорости – от сантиметров до десятков сантиметров в секунду, разрушительная работа этих течений невелика. Наибольшее значение течения имеют в переносе обломков. Во взвешенном состоянии они транспортируют растворенные вещества и песчано-глинистые частицы. Более крупные обломки течения передвигают волочением по дну. Скорость движения при этом зависит от скорости течений и характера дна моря. На Черноморском побережье отмечены случаи перемещения отдельных обломков на 700 м/сут. Перенос обломков течениями отражается на размере пляжей в сторону их увеличения или уменьшения. Уменьшение размера пляжа приводит к усилению абразии берега. В связи с этим на пляжах не разрешается устраивать карьеры по разработке гравия и песка.

Защита морских берегов от разрушения. Автомобильные дороги нередко приходится прокладывать по берегам, которые подвержены воздействию абразии. В таких случаях автодороги рекомендуется строить дальше от берега и если такая возможность отсутствует, то на берегах следует возводить защитные сооружения.

Для борьбы с абразией используют ряд способов. По принципу работы берегоукрепительные сооружения разделяются на пассивные и активные.

Пассивные сооружения – это волноотбойные вертикальные стены, расположенные вдоль берега, в конце пляжей, принимающие на себя удары морских волн (рис.70). Для отбрасывания волн в сторону моря наружной части этих стен придается криволинейная форма. Стены делают из монолитного железобетона, а наружную их часть, во избежание истирания бетона песчано-гравийным материалом, иногда облицовывают камнем из скальных пород.

Активные сооружения предназначены для сохранения пляжей. К сооружениям активного типа относят буны, тетраподы и волноломные стены.

Буны – это сооружения, которые имеют длину в 20-30 м, ширину 8-10м и высоту над водой после укладки на дно моря в 0,5-0,7м. Один конец буны погружается в пляж. Конструкция буны представляет собой железобетонные или металлические сваи, установленные в виде короба, который заполняется каменной наброской с покрытием бетонной плитой. На Черноморском побережье буны делают в виде железобетонных ящиков-понтонных с заполнением бетоном или бутобетоном. Буны устанавливаются нормально или под углом к линии берега. Волны, ударяясь о буны, теряют скорости, в берег бьют с ослабленной силой, переносимый ими обломочный материал откладывают между бунами, что в конечном итоге может увеличивать зону пляжа (рис. 71).

Тетраподы – железобетонная фигура с четырьмя ответвлениями в форме усеченных конусов, симметрично размещенных в пространстве. Благодаря такой форме они заклиниваются при наброске друг с другом, создают преграду воде, хотя ее пропускают, но волны разрушают. Промежутки между тетраподами заполняются обломочным материалом. Они хорошо держатся в крутых откосах (рис.72).

Волноломы – это железобетонные стены, которые ставят в воде в 30-40м от берега. Верх стены размещен под водой на 0,3-0,5м. Эти стены отсекают проходящую волну, завихряют ее, в силу чего она теряет ударную силу.

Следует отметить, что все защитные сооружения в конечном итоге разрушаются абразией. Поэтому за ними требуется постоянное наблюдение и ремонт.

Морские отложения. В морских бассейнах образуются все виды осадочных пород - обломочные, хемогенные и органогенные. На начальной стадии накопления это рыхлые осадки, впоследствии превращаются в горные породы. В прибрежной части за счет абразии создается масса обломочных пород. Это галечники, гравий, пески. В зоне шельфа, т.е. в мелководье, где морское волнение уже незначительно, формируются пески глинистые отложения и органический материал. В этой зоне создается значительное количество илов, иногда очень большой мощности. В глубоководной части морей образуются породы химического (известняки, мергели) и органического (известняки-ракушечники, трепелы) происхождения. Все эти породы, как правило, занимают огромные площади и имеют большие мощности.

21.3.2 Озера

Это углубления на поверхности земли, заполненные водой и не имеющие прямых связей с морями. Озера занимают 2% поверхности суши. На территории России их много – Карелия, Новгородская и Тверская области, Сибирь. На берегах многих крупных озер располагаются автомобильные дороги.

Озера подобно морям совершают геологическую работу, как разрушительного, так и созидательного характера, только в меньших масштабах. Разрушительная работа озер проявляется в абразионной деятельности волн, нагоняемых ветром. Постоянно дующие в определенных направлениях ветры вызывают волны, которые прибоем подмывают берега озер (рис. 73).

Геологическая деятельность озер создает по их берегам террасы: 1) абразионные, выработанные в коренных берегах и 2) аккумулятивные, сложенные озерными осадками.

Абразионные террасы в озерах образуются в процессе поднятия или опускания уровня воды. Это происходит в силу природных атмосферных причин, тектонических движений земной коры и в последнее время за счет производственной деятельности человека. Так, постройка Иркутской ГЭС обусловила поднятие уровня воды в озере Байкал на 1 м. Это вызвало новую волну абразионных переработок берегов. В отдельных местах размыв берега достиг десятков метров и стал угрожать, в частности, целостности автомобильных дорог.

Автомобильные дороги, построенные на абразионных террасах, обычно находятся в устойчивом состоянии и, если проложены на известном удалении от берегов озер, абразия им не угрожает. В тех случаях, когда действие абразии становится опасным, то следует использовать какие либо меры защиты, такие же как с морской абразией, но все сооружения будут иметь меньшие размеры. Чаще всего сооружают волноотбойные стены и волноломы в виде наброски камней.

Аккумулятивные террасы в озерах образуются за счет своих осадков, образованных в процессе абразии. Это породы обломочного происхождения, чаще всего в виде грубых обломков и различной крупности песков. На дне озер развиты глинистые накопления, пески, илы и ряд специфических образований, характерных только озерам – мергели, торф, сапропели и др. Особенностью мелководных озер является способность в определенных геологических и природных условиях переходить в стадию болот.

Строительство автодорог на аккумулятивных террасах осуществляется редко, т.к. это не благоприятные условия. Также сложным является строительство автодорог при пересечении мелководных озер и их прибрежных участков, где развиты так называемые «слабые» грунты (торфяные, органоминеральные, илы и др.). Все эти грунты имеют избыточное увлажнение, низкую несущую способность, высокую сжимаемость и т.д. Все это очень осложняет строительство автодорог и делает его очень дорогостоящим.

21.3.3 Водохранилища

Воды рек, подпруженные плотинами, создают водохранилища той или иной глубины, с различными размерами водной поверхности. Устройство самой маленькой плотины на небольшой речке, так же как и сооружение грандиозных плотин на самых мощных реках, вызывает однотипные геологические процессы, хотя и различного масштаба. На участке созданного водохранилища река прекращает свое существование, обращаясь в проточное озеро. На акватории водохранилища речной режим сменяется на озерный, а на больших водохранилищах он ближе к морскому.

По возрасту все водохранилища разделяются: 1) на водохранилища, существующие десятки лет и 2) водохранилища созданные недавно. В старых водохранилищах все активные геологические процессы себя исчерпали, сформировались профили берегов, намыты пляжи, абразия проявляется лишь на отдельных участках, да и то не значительно. Опасные для автодорог места имеют защитные сооружения, за состоянием которых следует только наблюдать и периодически проводить ремонтные работы.

Во вновь созданных водохранилищах, после заполнения водой, сразу начинаются переработка берегов (абразия) и формирование акваторий. Возникновение большой водной поверхности приводит к образованию ветровых волн. Расстояние, на котором действие ветра вызывает волнение, называют величиной разгона волны. Размыв (абразия) берегов водохранилища увеличивает водную поверхность, что вызывает увеличение разгона и высоты волн. Таким образом, процесс переработки берегов является прогрессирующим.

В водохранилищах, простроенных на равнинах, происходят сложные процессы разрушения и созидания. Причем все начинается с абразии берегов, которая проявляется весьма интенсивно. Этому способствует легкая размываемость осадочных пород, слагающих берега. Примером может служить Цимлянское водохранилище на юге Европейской части России, берега которого сложены лессовыми породами. Скорость размывания на начальной стадии абразии за один сезон составляла до 8 м/год (рис. 74). С 1952г. Цимлянское водохранилище в ряде мест «съело» берег на расстоянии до 500м, а на отдельных участках даже больше. В настоящее время берега размываются со скоростью до 30 м/год.

Следует отметить, что размыв берегов водохранилищ происходит на разных уровнях, т.е. размыву подвергаются целые толщи пород в интервале от 2 до 7 м. Это связано с колебаниями уровней воды в водохранилищах, как по сезонам года, так и в течении ряда лет.

При проектировании автодорог в районе вновь созданного водохранилища важное значение имеет прогноз переработки берегов во времени и по проявлению: 1) определяется общая ширина полосы возможного размыва берега и 2) интенсивность процесса переработки за 1 год, 10 лет и т.д.

Защита автодорог от абразии. Строительство автомобильных дорог в районе водохранилищ должно осуществляться за пределами полос размыва, согласно прогнозу и оценке абразионных процессов в береговой части. В тех случаях, когда размыв все же угрожает целостности автодорог, берега следует укреплять. Способы укрепления практически те же, что в морях и озерах – подпорные стены, каменные наброски, тетраподы и т.д.

Глава 22 Геологическая деятельность подземных вод

Подземные воды, движущиеся в порах, пустотах и трещинах горных пород, в определенных условиях могут разрушать структуры, передвигать мелкие частицы, переводить частицы дисперсных грунтов во взвешенное состояние. Часто все это происходит одновременно, но в зависимости от состава пород и условий движения воды, с различной интенсивностью.

Возможные последствия разрушительной работы учитывают при проектировании объектов, но также принимаются во внимание возможное их проявление в период эксплуатации сооружений.

Среди геологических процессов, порождаемых подземными водами, важнейшими являются суффозия, карсты и пльвуны.

22.1 Суффозионные процессы

Под эти процессом чаще всего понимают механический вынос потоком подземных вод глинистых, пылеватых, а иногда и песчаных частиц из рыхлых горных пород во взвешенном состоянии. В некотором смысле суффозию можно назвать «подземной эрозией», т.е. размывом горных пород движущимися подземными водами, в связи с этим процесс именуют механической суффозией. Для возникновения и протекания этого процесса необходимы два условия: 1) наличие разнородных по гранулометрическому составу пористых горных пород, например, супесчано-суглинистых со значительной примесью песчаных и пылеватых частиц; 2) наличие достаточно

высокой скорости движения подземных вод, т.е. поток подземных вод должен иметь значительные по величине гидравлические градиенты (гидравлические уклоны).

Суффозионные процессы наиболее часто возникают на склонах речных долин, берегах водохранилищ, в откосах дорожных выемок, на орошаемых территориях, т.е. там, где гидравлические градиенты повышаются по сравнению с окружающей территорией. Они могут также возникнуть и при откачке подземных вод, а иногда при прокладке дренажных и водоотводящих систем.

В результате выноса мелких частиц на поверхность земли или в другие породы, обладающие повышенной пористостью, трещиноватостью или пустотностью, в массиве происходит уплотнение пород, что ведет к проседанию поверхности земли, а иногда даже к ее провалам. Достаточно часто суффозионные процессы на естественных склонах или в откосах искусственных выемок являются причиной возникновения оползней.

Суффозия может происходить в разных породах, но особенно этому процессу подвержены лессовые отложения, которые на равнинах России имеют широкое распространение и несут на себе широко разветвленную сеть автомобильных дорог и аэродромов. Например, на орошаемых землях дельт рек Терека и Сулака (Прикаспий) за счет инфильтрации воды и перепада ее скоростей на границе супесчано-суглинистых отложений с озерно-аллювиальными трещиноватыми глинами в ряде мест образуются крупные провалы земли. Это нарушает работу оросительных систем и автодорог. В районе Волгограда многие оползни связаны с суффозионным выносом песка грунтовыми водами из лессовых толщ. На рис.88. показан случай образования суффозионной полости в лессовой толще в г. Ростове-на-Дону. Лессовидные суглинки с грунтовой водой лежат на водоупоре из скифской глины. На склоне рельефа водоупор выклинивается, и грунтовая вода падает в нижележащие известняки – ракушечники. В месте перепада скоростей образуется суффозионный процесс, который в лессовой толще приводит к образованию полостей и к провалам на поверхности земли (рис.75).

Меры борьбы с суффозией. Это достигается уменьшением фильтрационных потоков грунтовых вод (регулирование стока поверхностных вод, уменьшение гидравлических градиентов потоков) и дренажами, вплоть до полного прекращения фильтрации подземных вод. Породы нарушенные суффозией укрепляют силикатизацией и другими методами технической мелиорации.

22.2 Карстовые процессы

Карстовые процессы имеют на территории России широкое распространение. Это западное Приуралье, Русская равнина, Приангарье и во многих других местах Сибири, Кавказа, дальнего Востока. Расположение карстовых районов на европейской территории России показано на рис. 76.

Под карстовым процессом понимают процесс выщелачивания горных пород, т.е. процесс растворения и выноса какой-то части горных пород из массива в растворенном виде. Для возникновения и протекания этого процесса необходимы следующие основных: 1) наличие растворимых горных пород и 2) движение поверхностных или подземных вод определенного химического состава.

Карстовый процесс – это, прежде всего процесс растворения горных пород и поэтому его иногда называют «химической суффозией», в отличие от рассмотренной выше «механической суффозии». Среди горных пород наиболее растворимыми водой являются соли, гипсы с ангидритами и известняками, но скорость растворения у них различная. Так, если для растворения одной части каменной соли достаточно трех частей воды, то для гипса нужно уже 480 частей, а для известняков – от 1000 до 30000 частей воды, а это означает, что в природных условиях процесс карстования массивов этих пород растягивается на очень многие годы. Растворяющее действие воды на карбонатные породы усиливается содержанием свободной углекислоты, а гипс сильнее растворяется солоноватыми водами, тогда как соли интенсивнее растворяются в слабоминерализованной воде и тем сильнее, чем она по составу ближе к дистиллированной. Растворяющее действие воды усиливается с повышением температуры, скоростью движения и

наличием трещин в карстующихся породах. Большое влияние на развитие карстовых процессов оказывает климат, т.е. количество и распределение атмосферных осадков по сезонам года. Так, например, на Урале до 50% карбонатных солей выносятся водами весной.

Процесс растворения наиболее активно протекает в породах, расположенных выше уровня грунтовых вод. Ниже этого уровня воды могут быть насыщены солями, скорость движения воды весьма невелика и карстовый процесс происходит очень медленно либо вообще не происходит и, более того трещины в породах здесь могут даже цементироваться различными солями, которые переносятся подземными водами. В связи с этим в массивах карстующихся пород выделяют две зоны: - верхнюю, где в основном происходит растворение, и нижнюю, которую называют зоной цементации.

В геологическом отношении различают два типа карста: - открытый (средиземноморский), при котором растворимые породы лежат на поверхности земли и закрытый (восточноевропейский), когда массивы карстующихся пород перекрыты нерастворимыми породами, четвертичного возраста. Следует отметить, что под карстом часто понимают не только процесс, но и его результат, т.е. специфические формы, образующиеся в породах в результате растворения. Сам термин «карст» происходит от одноименного названия известкового плато Карст в Словенских Альпах, где карстовые формы выражены очень широко и наиболее ярко. Для открытого типа карста характерны такие формы, как карры, воронки, поля, а для закрытого типа - каверны и пещеры.

Карры – мелкие борозды и канавы на склонах рельефа, образованные в основном выщелачиванием известняков поверхностными атмосферными водами (рис. 77). Глубина их изменяется от 5 до 50 см и редко достигает 1-2 м.

Воронки – замкнутые углубления различной формы и размеров. Их диаметр колеблется от нескольких метров до десятков метров (рис. 78), а глубина чаще всего изменяется в пределах 5-20 м. По происхождению они подразделяются на: 1) воронки поверхностного выщелачивания; 2) провальные воронки. Первые напоминают воронку от взрыва снаряда или бомбы и образуются за счет выщелачивания карстующихся пород атмосферными водами на отдельных участках с постепенным углублением. Обычно на дне таких воронок располагается канал, по которому уходит вода. Провальные воронки возникают в результате обрушения кровли подземных карстовых пустот, например, пещер.

Поля – воронки неправильной, обычно вытянутой формы, образующиеся в результате объединения поверхностных или, что реже, провальных карстовых воронок. Поля могут простираются на десятки и сотни метров, при глубине в несколько метров.

Каверны – мелкие, но многочисленные подземные пустоты, которые образуются по трещинам пород, где активно фильтруется вода. Породы становятся похожими на пчелиные соты. Каверны обычно соединяются друг с другом и другими потоками.

Пещеры – крупные подземные пустоты различной формы и размеров, как по площади, так и по высоте потолков. Наиболее крупная пещера в Северной Америке (Флинт-Мамонтова), которая со всеми ответвлениями имеет общую длину до 341 км. площадь одного из залов имеет 163x87 при высоте потолка в 40 м, в ней текут три реки и действует 8 водопадов. На Кавказе (Новый Афон) имеется пещера с высотой потолка 70м. Вполне очевидно, что время образования таких пустот измеряется тысячелетиями. Пещеры могут располагаться в несколько этажей, как, например, в Жигулевских горах, и почти всегда сообщаться друг с другом. Для карстовых районов характерно исчезновение рек. Карстовые процессы могут проникать глубоко под землей. Отмечены случаи, когда они наблюдаются на глубине до 1300м (Средняя Азия).

Строительство автодорог и аэродромов в карстовых районах сопряжено с большими трудностями, т.к. карстующиеся породы являются ненадежным основанием. Пустотность массива снижает прочность и устойчивость пород. Развитие карстовых пустот может вызывать осадки и провалы поверхности земли, что ведет к разрушению дорожных объектов. При поиске путей для трасс автодорог и выбора места под аэродромы следует особо тщательно выполнять инженерно-геологические изыскания. При изысканиях необходимо: 1) устанавливать имеют ли место карстовые процессы или они отсутствуют, 2) при наличии в основаниях будущих сооружений карстующихся пород определять какой это тип карста: - активный (действующий) или - пассивный (древний,

прекративший развитие). При активном карсте пустоты продолжают расти, как на поверхности земли, так и в глубине толщ пород, трещины в породах открытые, по ним циркулирует вода, растительность (кусты, деревья) отсутствует. В пассивном карсте пустоты заполнены песчано-глинистым материалом, циркуляция воды отсутствует, поверхность часто задернована и покрыта растительностью. Такой карст прекратил свое развитие, пустотность не возрастает, но эти закарстованные породы существенно ослаблены по прочности и при строительстве объектов требуют определенного упрочнения.

Строительство автодорог и аэродромов. При прокладке трасс автодорог и поиске мест под аэродромы участки с активным карстом лучше всего оставлять в стороне и на них не строить. Особенно это касается аэродромов и высококлассных дорог. При необходимости пересекать дорогами участки активного карста следует осуществлять определенные меры по борьбе с пустотностью: 1) прекращать поступление поверхностных вод в толщи пород (планировкой, ливнеотводами, укладкой глины на поверхность земли), 2) останавливать движение подземных вод, 3) укреплять породы заполнением пустот цементами, жидкой глиной и т.д. Рекомендуется также пораженные карстом участки пересекать эстакадами с опорами на прочные породы.

Инженерно – геологические работы на карстовых участках представляют собой известную сложность. Изыскания проводят, как по площади, так и по глубине. Буровые скважины не дают полной картины пустотности грунтовых массивов и поэтому в состав работ должны входить геофизические методы разведки. По итогам изысканий определяется степень закарстованности участка и дается прогноз возможного дальнейшего развития карста. В инженерно-геологическом отчете для изученного участка предлагается комплекс мероприятий по борьбе с карстом и оптимальные варианты проложения трасс автомобильной дороги.

22.3 Плывунные процессы

Плывунами так в строительной практике называют водонасыщенные пылеватые и мелкозернистые пески, которые при вскрытии какими либо строительными или горными выработками разжижаются, приходят в движение и ведут себя подобно тяжелой, вязкой жидкости. Плывунные свойства при определенных условиях могут также проявлять некоторые супеси и пылеватые суглинки.

Основной причиной проявления у пород плывунных свойств является гидродинамическое давление поровой воды, которое возникает при их вскрытии. В плывунном состоянии породы утрачивают все структурные связи. Частицы пород переходят во взвешенное состояние. Интенсивность плывунных свойств в породах зависит от ряда факторов – величины давления в воде, гранулометрического и минерального состава.

Плывуны по своим свойствам разделяют на два вида: 1) ложные (псевдоплывуны) и 2) истинные плывуны.

Ложные плывуны – это пески, не имеющие структурных связей. Переход в плывунное состояние происходит под действием высокого гидродинамического давления потоков трунтовых вод. Коэффициент фильтрации высокий и достигает 1-2м/сут. и более. Частицы находятся во взвешенном состоянии. Трение между ними сведено к нулю.

Такое взвешивающее действие воды при определенных условиях проявляется так же в некоторых песках на морских и речных (но реже) побережьях, создавая так называемые зыбучие пески.

Характерной особенностью ложных плывунов является довольно легкая отдача воды, даже самотеком. После отдачи воды и высыхания песок остается в виде рыхлой или слабоцементированной массы.

Истинные плывуны – это глинистые пески, супеси и суглинки с коагуляционными или смешанными структурными связями, обусловленными присутствием глинистых частиц (менее 0,001 мм) с высокими гидрофильными свойствами, а также по некоторым экспериментальным данным с наличием живых микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности. Переход в плывунное состояние проявляется при невысоком гидравлическом давлении в присутствии притягивающих к себе воду глинистых частиц, вокруг которых располагаются пленки связанной воды. Эти пленки

ослабляют структурное сцепление частиц и снижают водопроницаемость пород. Коэффициент фильтрации у таких пород очень небольшой и колеблется от 0,005 до 0,0001 см/с.

При высыхании истинные пльвуны за счет склеивающего действия глинистых частиц образуют довольно сильно сцементированные массы. Характерной особенностью этих пльвунов является слабая отдача воды самотеком и по принуждению.

В строительной практике при инженерно – геологических изысканиях необходимо определять: 1) способность данных пород переходить в пльвунное состояние и 2) вид пльвуна, т.е. ложный он или истинный. Это устанавливается в грунтоведческих лабораториях, а иногда непосредственно на объекте строительства.

Пльвуны существенно осложняют строительство. Первыми с пльвунами сталкиваются инженеры-геологи при выполнении изыскательских работ. Пльвуны затрудняют проходку буровых скважин и особенно шурфов. При проходке дорожных выемок пльвуны могут стремительно выйти на поверхность, заполнить выработки и прекратить строительные работы до тех пор пока пльвуны не будут остановлены.

Выход пльвунов возможен при подрезке склонов, когда расширяют дороги. Такие выходы пльвунов в свою очередь приводят к образованию оползней и оседанию склонов. Примером может служить случай со 100-метровым трамплином на Воробьевых горах в Москве. После строительства трамплина строители начали подрезать нижнюю часть склона, чтобы придать ему необходимую кривизну для безопасного приземления лыжников. Так был вскрыт пльвун, который стремительно стал покрывать склон, и вызвал его оседание.

Пльвуны при условии замкнутого пространства и залегания на достаточно большой глубине могут быть приемлемым основанием для автодорог (но не для аэродромов), но если где-то по соседству пльвуну дадут выход, то может произойти оседание поверхности земли на участке дороги.

Пльвуны весьма чувствительны в вибрации и динамическим ударам, что, в общем-то, свойственно автодорогам с движущимся тяжелым транспортом.

Борьба с пльвунами сложна и не всегда дает положительные результаты. По проходке дорожных выемок пльвуны не должны вскрываться, дно выемок следует закладывать выше, но если все же имеется необходимость в том, чтобы пройти пльвун, то его предварительно следует сделать безопасным. В строительстве применяют ряд способов борьбы с пльвунами – замораживание, цементация, силикатизация и другие, но в дорожном деле более целесообразным следует считать замораживание, особенно, в зимнее время. После замораживания пльвун ограждают необходимыми сооружениями, например, подпорными стенами, и далее продолжают строительные работы в обычном режиме. Способы цементации и силикатизации при строительстве дорог используют редко.

При строительстве фундаментов некоторых дорожных сооружений с пльвунами борются устройством шпунтовых стен. Такой способ применяют также при устройстве мостов, где развиты зыбучие пески (рис. 79).

Ложные пльвуны можно делать безопасными откачкой из них воды. Для истинных пльвунов этот способ неприемлем.

Глава 23 Движение горных пород на склонах рельефа

и в откосах автодорог

23.1 Общие положения

Склоны это естественные наклонные участки поверхности земли, ограничивающие различные формы рельефа, а откосами обычно называют искусственно созданные склоны. Склоны бывают вертикальные, крутые, пологие, ступенчатые, выпуклые. Они часто могут находиться в неустойчивом состоянии. Это вызывает процессы перемещения вниз по склонам под действием силы тяжести массивов пород или их обломков. Эти движения называют склоновыми процессами. К ним относят такие геологические процессы, как осыпи, курумы, обвалы и оползни.

Приведенные термины на практике имеют двойной смысл: они обозначают как сам процесс – движение пород вниз по склону, так и результат этого процесса – скопления масс переместившихся горных пород на склонах или у их подножий.

Движение масс горных пород и их обломков на склонах представляет значительную опасность для автомобильных дорог и населенных пунктов, расположенных у подножия склонов. Особенно опасны оползневые процессы, а также обвалы на берегах морей и водохранилищ.

23.2 Осыпи на склонах гор

На крутых склонах рельефа и откосах строительных выемок вследствие выветривания горные породы разрушаются и в виде обломков перемещаются вниз, к подошве склонов, где создают скопления в виде валов и конусов. Такое, сравнительно быстрое, движение дисперсного (рыхлого, раздробленного) материала вниз по склону, а также его скопления и принято называть осыпью. Скопления осыпавшегося материала, там, где склоны выполаживаются нередко называют шлейфом осыпи. Мощность осыпей в этих местах может составлять от метров до десятков метров.

Осыпи состоят из обломков, но величина обломков зависит от типа разрушающихся горных пород. Так массивные кристаллические породы распадаются на крупные обломки (вплоть до глыб), более мягкие породы дают обломки в виде щебня и дресвы. Последние наиболее типичны откосам строительных выработок на территориях равнин. Осыпи горных районов, в своей верхней части, имеют крутизну до 40-45° и более. Нижняя часть осыпей обычно пологая – 30-35°.

Характерной особенностью осыпей является их подвижность, т.к. это очень рыхлая масса, сложенная из обломков, которые практически ничем друг с другом не связаны. Подвижность осыпей зависит от интенсивности поступления в них обломочного материала. Осыпи бывают : 1) действующие, 2) затухающие и 3) затухшие. Действующие осыпи для автодорог представляют собой наибольшую опасность. В таких осыпях масса обломков непрерывно возрастает и находится в очень неустойчивом состоянии. Движение таких осыпей происходит за счет собственной тяжести, увлажнения от дождей и снеготаяния, землетрясений и даже от сотрясения воздуха от движущегося транспорта.

Затухшие осыпи зарастают травой, кустарником и деревьями, но следует отметить, что эта масса обломков все же находится в состоянии неустойчивого равновесия. Подрезка и перегрузка таких осыпей дорожными сооружениями может снова сделать их подвижными.

Степени подвижности осыпей характеризуется коэффициентом подвижности – $K = a/\varphi$, где a – угол уклона поверхности осыпи (в ее верхней части) и φ – угол естественно откоса материала из которого сложена осыпь. При $K = 0,7-1$ осыпь находится в подвижном состоянии («живая»), угол откоса может быть более 65°; при $K = 0,5-0,7$ осыпи относятся к слабоподвижным (углы от 45 до 65°) и со значением K менее 0,5 – к относительно неподвижным (углы менее 45°).

Автодороги в горах на участках осыпей требуют определенной защиты. При K менее 0,5 дороги следует строить с невысокими насыпями и без дополнительных сооружений. Подвижные осыпи следует обходить и если это не возможно, то на дорогах необходимо предусматривать определенные мероприятия, а при очень активных осыпях даже переносить дорогу на другой склон ущелья, но это уже требует строительства мостов. Наиболее обычной защитой являются подпорные стены, построенные вдоль дорог. Накопленный за ними обломочный материал необходимо периодически убирать (рис. 80). В горных районах на особо опасных участках над дорогами устраивают козырьки (или сетки) или галереи и тоннели (рис. 81). Материал осыпей можно успешно использовать для отсыпки насыпей, устройства дорожных одежд, как щебень для бетонов.

Мероприятия по борьбе с осыпями назначаются после их обследования. По каждой осыпи составляется паспорт, в котором имеется инженерно-геологическая карта, где обозначены контуры, мощности и источники питания, а также геолого-литологический разрез осыпи.

23.3 Курумы горных районов

Это геологическое явление свойственное долинам горных рек. Особенно активно оно проявляется на территории вечной мерзлоты (Восточная Сибирь, Дальний Восток) и в районах с суровым климатом (Урал, Алтай, Саяны и т.д.).

Курумы представляют собой огромные скопления крупных обломков горных пород, чаще в виде глыб. Эти массы обломков располагаются у подошвы склонов, заполняют ложбины и днища

долин (рис.82). Курумы образуются на пологих склонах долин (уклоны в 8-25°). Основным фактором их происхождения является физическое выветривание, в котором основную роль играют морозные процессы.

Курумы занимают большие площади и в днищах долин могут иметь мощность до 10-15м, соединяясь при этом с аллювием рек. Характерной особенностью курумов является их передвижение. Огромная масса камней (глыб) непрерывно сползает вниз по склонам. Скорость сползания небольшая – от сантиметров до десятков сантиметров в год, но за ряд лет это составляет внушительные расстояния. Сползание каменной массы обусловлено залеганием под ней «глинистой подстилки». Эти глины постоянно смачиваются атмосферными и грунтовыми водами, а также водами при снеготаянии, и глыбы под действие собственной силы тяжести ползут по мокрой глине и чем больше она смачивается, тем быстрее идет скольжение. В тесных ложбинах курумы создают так называемые каменные потоки.

По подвижности курумы разделяются: 1) на действующие (подвижные) и 2) затухшие, т.е. практически неподвижные. Последние бывают покрыты частично или полностью слоями почвы с растительностью.

Автомобильные дороги в долинах горных рек часто пересекают потоки курумов. Дорожные насыпи проходят по курумам или по расчищенным от них участкам. В первом случае возможны подвижки насыпей, что нарушает нормальную их эксплуатацию. Во втором случае масса глыб может оказывать давление на насыпи и разрушать их целостность. Борьба с курумами трудоемкая и постоянная. Хорошие результаты можно получить, создавая систему отвода поверхностных вод нагорными канавами, которые закладываются выше от дорог. Глинистая подстилка обезвоживается, и движение курумов останавливается. Часто крупные глыбы, оказывающие давление на насыпи, уничтожают взрывами. Автодороги следует прокладывать, если имеется такая возможность, на тех участках курумов, которые перешли в разряд затухших.

23.4 Обвалы

Это внезапное обрушение на склонах более или менее крупных масс горных пород с опрокидыванием и дроблением. Обвалы возникают на очень крутых склонах гор (более 50°), в обрывах равнинных форм рельефа в долинах рек, на побережьях морей, а так же в стенках строительных котлованов, траншей и дорожных выемок (рис. 83).

В горах при крупных обвалах масса обломков устремляется вниз по склону, дробится на мелкие части и по пути увлекает за собой элювиальный и делювиальный материал. Эта масса обломков у подошвы гор разрушает и засыпает автодороги и нередко подпруживает реки.

Обвалы образуются вследствие трещиноватости пород, особенно скальных, подмыва или подрезки склонов, перегрузки склонов каким либо сооружением, землетрясений. Обвалы наиболее часто возникают в периоды затяжных дождей, таяния снега и льда. Это существенно утяжеляет массивы пород, оказывает давление на них, вода снижает прочность их структурных связей.

Объем обрушающихся масс пород бывает различным – от отдельных глыб до десятков тысяч кубических метров. Так в свое время обвалы перекрыли реки и образовали озера - Рица на Кавказе и Сарезское на Памире. Сарезское озеро появилось после землетрясения в 1911 году, имеет длину 75 км, ширину до 1,5 км и глубину в 262 м.

Разновидностью обвалов являются вывалы, представляющие собой свободное падение отдельных камней и глыб из скальных отвесных склонов. Такие обломки попадают на дорожные покрытия, и представляют серьезную опасность для транспорта. Вывалы типичны строительным выработкам, которые выполняются в осадочных породах, а также бывают при разработке карьеров строительных материалов.

Борьба с обвалами. Обвалы больше всего беспокоят в районах гор. При инженерно – геологических изысканиях под автодороги необходимо вести изучение склонов по всей их высоте, устанавливать геолого–литологическое строение, изучать трещиноватость и выветрелость пород, определяют в целом устойчивость склонов. Определить в какой момент возникнет обвал, не представляется возможным, но всегда можно установить участки дорог, которые находятся в опасности. Для этих участков следует предусматривать те или иные профилактические мероприятия, исключающие проявление обвалов.

За опасными склонами устанавливается постоянное наблюдение. В горах на автодорогах склоны из скальных пород подпирают железобетонными стенами и столбами (рис.84), трещины цементируют и скрепляют скобами, при возможности производят искусственное обрушение пород на отдельных участках. При холмистом рельефе используют те же меры предупреждения обвалов. На равнинах при выполнении дорожных выемок не следует перегружать и подрезать откосы, целесообразно их выколачивать и облицовывать, необходимо устраивать нагорные канавы для отвода поверхностных вод, которые снижают устойчивость откосов. При разработке карьеров не следует подрезать и загружать отвалами участки забоев.

Инженерно – геологические работы в районах, где возможны обвалы, выполняются в объеме, достаточном для обоснования оптимального проложения трассы автодороги, защиты и укрепления склонов. Составляется инженерно – геологическая карта с указанием мест, где необходимы противообвальные сооружения. К карте прилагается геолого–литологические разрезы опасных участков и прогнозы по развитию возможных обвалов.

23.5 Оползневые процессы

Под оползнями принято понимать медленное или быстрое перемещение земляных масс на склонах рельефа, происходящее под действием силы тяжести и при участии поверхностных и подземных вод и при наличии поверхности скольжения.

Оползневые процессы на земной поверхности имеют широкое распространение, как в горных районах, так и на равнинах. Оползни являются одним из самых опасных геологических явлений наряду с извержениями вулканов и землетрясениями. Они представляют опасность не только строительным объектам, но и населенным пунктам, приводят к гибели людей. Это можно видеть из случаев, когда оползни имели катастрофический характер (рис.85).

В 1963г на севере Италии оползень объемом в 240 млн.м³ разрушил плотину, что привело к гибели 3000 чел. В результате подрезки склона горы в Азии в 1964 г произошел оползень объемом 20 млн. м³ , который перекрыл р. Зеравшан. Возникла запруда длиной 850м, шириной 650м и высотой 150 м. в 1974 г произошел оползень в Перу. Объем оползня составил 2,8 млрд. м³, общий ущерб населению составил около 1 млрд. долларов.

Кроме таких катастрофических случаев во многих районах Мира оползни себя проявляют ежегодно, как, например, на берегах Черного моря в Краснодарском крае, в речных долинах рек (Волги, Дона и др.). В результате техногенной деятельности человека проявляются новые оползни. Так на автотрассе Алушта-Никита (Крым) при строительстве дороги возникло 20 новых оползней, а 5 старых оползней активизировали свою деятельность.

В крупных оползнях массы пород, смещаясь вниз по склону, увлекают с собой здания, автодороги и другие сооружения или, наоборот, надвигаются на них. Во всех этих случаях эти объекты разрушаются. Сползание пород нередко можно наблюдать в откосах глубоких выемок и высоких насыпей автомобильных дорог.

Оползневые процессы на склонах рельефа, как правило, проявляются в осадочных породах и в большей части в глинистых образования. При строительстве автодорог дорожникам чаще всего приходится иметь дело с оползнями на равнинах. Широкое развитие получили, оползни на склонах речных долин, сложенных лессовыми породами. На фотографиях (рис. 86 и 87) показано, как проявляются оползни в лессовых породах территории Нижнего Дона.

Элементы оползней. В каждом оползне следует выделять следующие элементы (рис. 88): 1) оползневое тело, 2) поверхность скольжения, 3) бровка срыва, где произошел отрыв оползневого тела от основной массы пород склона, 4) положение поверхности склона до оползня, 5) вал выпучивания, разбитый трещинами, 6) подошва оползня – место выхода поверхности скольжения. Все эти элементы необходимо знать, для того чтобы целенаправленно выбирать способы борьбы с оползнями. Важнейшим при этом является установление в толще пород места и характера поверхностей скольжения.

Глубина залегания поверхности скольжения в целом характеризует глубину залегания и общий объем оползневого тела. Оползни бывают: 1) поверхностные (сплыва) – глубина залегания оползневого тела до 1м, 2) мелкие – до 5м, 3) глубокие – до 20м и 4) очень глубокие – более 20 м. Эти показатели также играют свою роль при выборе противооползневых мероприятий.

Скорость движения оползневых тел очень разная, но в целом ее можно разделить на два вида: 1) медленная, мм/год или см/год и 2) катастрофическая, когда оползневое тело соскальзывает в один прием. Это самое разрушительное движение и остановить его уже не представляется возможным.

При инженерно-геологических изысканиях в целях проложения трасы автодороги производится осмотр всех склонов. По ряду внешних признаков, можно ориентировочно установить в каком состоянии они находятся. Склоны с оползневыми подвижками имеют следующие признаки: 1) на участке бровки видна серия концентрических трещин, 2) поверхность склона бугристая, 3) у подошвы склоны валы горных пород, 4) деревья и столбы имеют наклоны, 5) покрытие дорог разбито трещинами и само земляное полотно может быть со смещениями.

В процессе изыскательских работ определяется устойчивость склонов (или степень устойчивости) по соотношению сил, стремящихся столкнуть массу пород вниз по склону, и сил, которые сопротивляются этому сталкиванию (рис. 89). Устойчивость склона выражается уравнением: $T = N \operatorname{tg} \varphi + CF$, где T – сдвигающая составляющая веса массива пород, N – нормальная составляющая веса, F – поверхность скольжения оползневого тела, C – сцепление частиц породы, $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения.

Степень устойчивости склона определяется коэффициентом $K_{уст} = \frac{N \operatorname{tg} \varphi + CF}{T}$.

Числитель отражает сумму сил, которые сопротивляются возникновению оползня, в знаменателе – сталкивающие силы. Сопротивление оползанию оказывают сцепление и внутреннее трение пород. При $K_{уст} > 1$ – склон находится в устойчивом состоянии, $K_{уст} = 1$ – в определенном равновесии и $K_{уст} < 1$ – склон сползает.

Борьба с оползневыми процессами в дорожном строительстве осуществляется постоянно. Для того, чтобы осуществить какое либо мероприятия против оползневых процессов необходимо точно знать, что в данном случае может породить оползень или почему этот процесс начал развиваться.

Причины, которые порождают оползни, можно свести в три группы: 1) изменение внешней формы и высоты склонов за счет колебания уровней рек, разрушающей работы волн и текучих вод, подрезки склонов при строительных работах, 2) ухудшение свойств пород склонов за счет выветривания, увлажнения поверхностными, подземными и хозяйственными водами, суффозии, 3) дополнительных давлений на породы склонов – гидродинамическое давление воды при фильтрации подземных вод в сторону склона, гидростатическое давления воды в трещинах и порах пород, сейсмические явления.

Меры борьбы с оползнями разделяются на пассивные и активные и зависят от причин порождающих оползни.

Пассивная борьба включает мероприятия профилактического характера. Они применяются, как предупредительные или запрещающие: не допускается подрезка и перегрузка склонов, сброс поверхностных вод на склоны, разработка склонов горными выработками. Все эти мероприятия должны обеспечивать устойчивость склонов или делать склоны более устойчивыми, и на будущее если в нем возникли некоторые подвижки.

Активная борьба необходима, когда склоны находятся в состоянии предельного равновесия или уже содержат оползневые тела. В таких случаях требуются мероприятия, которые позволяют придать склонам необходимую устойчивость. Активные меры борьбы – это фактически инженерная защита склонов. В их число входят четыре группы мероприятий: 1) борьба с процессами, вызывающими оползание, 2) удержание сползающих земляных масс, 3) увеличение сопротивления пород сдвигающему усилию и 4) съём оползневых масс до ниже лежащих устойчивых пород.

К первой группе относят мероприятия, направленные на нейтрализацию действия различных вод – морских, речных, поверхностных, подземных. Это устройство нагорных канав и дренажей (откосных и подземных).

К мероприятиям второй группы относятся подпорные стены, сваи – шпонки, контрбанкеты. Основание подпорных стен должно быть заглублено ниже поверхности скольжения оползневого тела. За этими стенами делается дренаж, чтобы за ними не скапливалась вода. Сваи – шпонки это железобетонные столбы, которыми протыкают оползневое тело и припиливают его к неподвижной части склона. Широко применяются контрбанкеты в виде пригрузки подошвы склонов массой земли. Это удерживает оползневое тело. Это мероприятие можно считать, как аварийной работой.

К третьей группе мероприятий относятся способы закрепления пород цементацией и силикатизацией. Эти способы в дорожном деле используются редко. Так же довольно редко используется способ съема оползневых масс. Способ эффективный, но дорогостоящий и трудоемкий.

Следует отметить, что бороться с оползнями, целесообразно не одним каким либо способом, а использовать комплекс мероприятий с одновременным их выполнением. Практика эксплуатации автодорог показывает, что борьба с оползнями отдельными мероприятиями не дает гарантии на успех.

Оползневые процессы требуют значительного объема инженерно – геологических изыскательских работ. При этом устанавливаются площади, тип оползня, мощность оползневого тела, характер поверхности скольжения. Все это отражается на инженерно – геологической карте масштаба не менее 1:2000 и геолого–литологическом разрезе. На основе этих данных назначаются эффективные противооползневые мероприятия.

Глава 24 Геологические процессы в области вечной мерзлоты

24.1 Общие сведения о вечной мерзлоте

На обширных территориях Севера и Северо–Востока России на площади около 11 млн.кв.км, что отвечает 64% территории страны, располагаются толщи вечномерзлых (многолетнемерзлых) горных пород. Вся эта территория относится к первой дорожно-климатической зоне. Такие же вечномерзлые толщи имеют место на севере Канады, Аляске, Антарктиде, в высокогорных районах и т.д. В целом области вечной мерзлоты на суше Земли занимают почти 26% площади.

Вечная мерзлота (криолитозона) сформировалась 10-15 тысяч лет назад, в период последнего сильного похолодания климата на Земле, что привело к оледенению ее поверхности в ряде регионов (ледниковый период). На сегодня имеются и другие точки зрения. Ряд ученых считает, что мерзлые толщи в криолитозоне, т.е. в области вечной мерзлоты, являются наследием климата, существовавшего сотни тысяч лет назад. Возраст мерзлых толщ в Якутии до недавнего времени считали 40-50 тысяч лет. Исследования показали, что в Якутии мерзлые толщи полностью не оттаивали последние 300 тысяч лет, а возраст мерзлых толщ на Аляске и в Канаде оценивается в 1-1,5млн.лет.

Криолитозона в России имеет свои особенности, как по площади распространения, так и по вертикальному строению. От берегов Арктики в южном направлении область вечной мерзлоты разделяется на три зоны: 1) сплошную, 2) с таликами и 3) островную (рис.90).

Сплошная мерзлота занимает территорию крайнего севера у берегов Арктики. Мощность мерзлотных толщ достигает сотни метров, и температура держится на уровне минус 7-12⁰С

Зона с таликами располагается южнее сплошной зоны. Мощности ее мерзлых толщ составляют 20-60м, температура минус 0,2-2⁰С. В этой зоне имеют место участки с тальми породами, которые называют таликами. Образование таликов связывают с циркуляцией в мерзлых толщах подземных вод.

Южная оконечность криолитозоны представляет собой островную вечную мерзлоту, в этой зоне среди талых пород в виде отдельных участков расположены мерзлые породы с мощностью в 10-30м и температурой от 0 до минус 0,3⁰С.

Автомобильные дороги обычно имеют большую протяженность, особенно на просторах Сибири, и поэтому они могут проходить по различным участкам криолитозоны. Для строителей дорог определенный интерес при этом представляет распределение по площадям талых и вечномерзлых пород.

Вечномерзлая толща по вертикали разделяются на две части: 1) деятельные слои и 2) собственно мерзлые толщи пород.

Деятельный слой – это верхняя часть вечной мерзлоты, которая в летний период оттаивает и замерзает зимой, т.е. это в определенной мере сезонная мерзлота. Мощность этого слоя зависит от климата и литологического состава грунтов и колеблется от 0,5-0,8 до 4м. на севере мощность минимальная, на юге – наибольшая. В одном и том же месте в торфе или глине мощность слоя может быть около 1м, в то же время как в песках и гравии, имеющих открытые поры, 2-4м. Следует отметить, что мощность деятельных слоев определяется не глубиной максимального промерзания, а глубиной максимального протаивания.

Приведем некоторые примеры по мощностям деятельных слоев в разных по климатам районах. Так глубина сезонного протаивания на побережье Северного Ледовитого океана в песчаных породах составляет 1,4-2,2м, а в глинистых – 0,8-1,2м. В районах широты Северного полярного круга (Воркута, Игарка, Верхоянск, Уэлен) глубина оттаивания в песках достигает 2-3м, а в глинах 1.2-2м. У южной границы криолитозоны пески протаивают на 3-3.2м, а глины – на 2-2,8м. Заторфованные породы оттаивают на глубину в 2-2,5 раза меньшую, чем глинистые и в 3-4 раза меньшую, чем песчаные.

Деятельные слои бывают 2-х видов: 1) сливающиеся, характерные для северных районов и 2) несливающиеся. В первом случае деятельный слой в зимнее время полностью промерзает и сливается с вечной мерзлотой. При несливающемся деятельном слое между ним и вечномерзлой толщей остается слой не замерзшей породы. Это бывает связано с теплой зимой либо характером пород деятельного слоя (рис.91).

Бывают случаи, когда в какой-то год летом оттаивает не весь деятельный слой. В его нижней части остаются замерзшие породы. Такие случаи называют перелетками. Это временное явление и через 3-5 лет деятельный слой может полностью оттаять.

Для решения дорожно–строительных задач важно знать мощность и вид деятельного слоя, которые определяют: 1) при инженерно – геологических изысканиях, 2) по многолетним (более 10 лет) наблюдениям за мерзлотой данных районов и 3) расчетным способом.

Строительство и эксплуатация дорог и аэродромов во многом зависит от характера деятельного слоя – мощности, физических и физико-механических характеристик пород. С этим слоем связаны дорожные земляные работы, в нем проявляются негативные процессы, приводящие к деформациям насыпей и дорожных одежд.

Собственно вечномерзлые толщи. По своему геологическому строению они бывают двух видов: 1) непрерывные сплошные толщи мерзлых пород и 2) толщи слоистого строения, где чередуются мерзлые слои со слоями (прослоями, линзами) талых пород (или льда).

В вечномерзлых толщах присутствуют все виды горных пород, однако наибольший интерес для проектировщиков и строителей представляют дисперсные породы. (супеси, суглинки, глины, пески и т.д.). В них всегда содержатся включения чистых льдов различной формы и размеров. Это пропластки, линзы, пласты. Последние иногда имеют большую мощность и типичны местностям с наиболее суровым климатом, например, в Арктике, где имеются острова, состоящие из таких льдов, перекрытых земляными наносами с растительностью. В настоящее время эти острова размываются и подтаивают. Так, например, в середине XX века исчез остров Семеновский, который состоял из такого ископаемого льда, перекрытого песчано-глинистыми наносами.

Особо следует отметить, что фиксирующиеся в настоящее время признаки глобального потепления климата, предвещают деградацию многолетней мерзлоты. По расчетам специалистов к концу 21-го века возможно смещение южной границы распространения вечной мерзлоты в Западной Сибири на 500-700 км на север, а в отдельных районах и того больше. В результате этого можно ожидать существенное перемещение береговой линии северных морей вглубь континента.

Подземные воды. В криолитозоне содержатся следующие виды подземных вод: 1) надмерзлотные, 2) межмерзлотные и 3) подмерзлотные. Надмерзлотные располагаются в деятельном слое и представляют собой, безнапорные грунтовые воды с водоупором из вечной мерзлоты. Межмерзлотные и подмерзлотные виды – это межпластовые воды. Межмерзлотные воды находятся в самой мерзлой толще, а подмерзлотные под ней. Эти виды воды взаимосвязаны, чаще всего напорные и находятся в постоянном движении, что обуславливает наличие в мерзлых толщах талых слоев.

24.2 Криогенные процессы

Для криолитозоны характерны для криогенных процессов, которые оказывают прямое и негативное воздействие на автодорожные и аэродромные сооружения. Наиболее опасными процессами являются морозное пучение, бугры пучения, наледи, термокарст, солифлюкция и термоэрозия.

Морозное пучение возникает при промерзании связных грунтов в деятельном слое, в котором образуются кристаллы, линзы и прослойки льда. Это увеличивает объем грунтов, примерно, на 9%, и приводит к подъему поверхности земли.

Пучение проявляется в зимнее время на ограниченных участках дорог. Высота подъема поверхности земли составляет несколько сантиметров. В весенне-летнее время лед оттаивает и на местах пучений образуются ямы. Морозное пучение проявляется в тех местах, где деятельные слои сложены пылеватыми суглинками, которые могут содержать большое количество воды. Если деятельные слои состоят из песков и крупнообломочных пород то пучение не возникает.

При строительстве автодорог и аэродромов необходимо принимать меры по предотвращению проявления морозного пучения. При сооружении дорожных насыпей не допускается использование пылеватых грунтов, предусматриваются дренажные устройства для отвода из деятельных слоев надмерзлотных вод.

Бугры пучения образуются в результате давления на замерзший деятельный слой межмерзлотных напорных вод (рис.92). Деятельный слой начинает взбуhrиваться. Процесс взбуhrивания может продолжаться несколько лет. И на поверхности земли образуются широкие (десятки метров) и высокие бугры (булгуннях). Высота бугров может быть несколько метров, даже

иногда более 10 м. По истечении ряда лет рост бугров прекращается и они разрушаются. На этих местах образуются заполненные водой западины и даже небольшие озера.

Рост бугров пучения вблизи автодорог представляет определенную опасность, особенно, в тех случаях, когда бугры возникают в непосредственной от них близости. Это может нарушить целостность земляного полотна дороги, а при прорыве на поверхность вод образовывать на дорогах крупные наледи.

Наледи. Под таким названием понимают ледяные тела, являющиеся результатом замерзания подземных или речных вод, которые в зимнее время излились на поверхность земли. Иногда наледи образуются в процессе хозяйственной деятельности человека.

Наледи, образовавшиеся за счет подземных вод на суше, называют грунтовыми, а в долинах рек – речными наледями.

Грунтовые наледи. Надмерзлотные воды в зимнее время замерзают и в том или ином месте разрывают деятельные слои (рис. 93). Вода выливается на поверхность земли, где замерзает создавая ледяные тела. (наледи). Форма и мощность грунтовых наледей бывают различными. Они могут покрывать участки земли или иметь вид ледяных потоков. В Сибири, например, отмечен уникальный случай образования такого покрова. Наледь занимала площадь в 20 кв. км при мощности слоя льда в 4-5м.

Грунтовые наледи, заливают дороги, закрывают отверстия водопропускных сооружений. Все это создает значительные трудности в эксплуатации дорог. Образование на автодорогах одиночных наледей – довольно редкое явление Грунтовые наледи чаще всего располагаются вдоль дорог, образуя цепочки наледей. Следует заметить, что неправильно выполненное строительство автодорог может приводить к образованию наледей. Этому способствует вырубка лесов и кустарников у дорог, уничтожение мшаников и почвенных покровов.

При проектировании дорог в криолитозоне важное значение имеет прогноз образования грунтовых наледей. Долгосрочные прогнозы на образование наледей составляются на основе опыта эксплуатации дорог (аэродромов) за ряд лет на данной территории.

При строительстве автодорог и аэродромов в криолитозоне обязательно предусматриваются мероприятия по борьбе с грунтовыми наледями. Борьба зависит от того какие это наледи по времени образования – сезонные (одноразовые) и многолетние или постоянно образующиеся на данных участках.

Сезонные грунтовые наледи проявляются в зимнее время достаточно неожиданно и их относят к аварийным случаям. Борьба с ними осуществляется пассивными способами: производится скалывание льда с поверхности дорог, отводят воду канавами, если она продолжает поступать из земли. К активным мероприятиям относят работы по защите дорог в период их строительства: поднимают бровки земляного полотна; увеличивают высоту насыпей; увеличивают отверстия мостов; создают дренажи для оттока надмерзлотных вод, отсыпают земляные валы для прикрытия дорог от возможных потоков воды. Все активные мероприятия носят характер трудоемких работ и применение тех или иных способов зависит от местных условий (геологического строения вечной мерзлоты, рельефа местности и т.д.)

Речные наледи возникают в результате прорыва воды из подо льда реки(рис. 94). Вода разливается на поверхности льда и замерзает. Прорывы воды связаны с утолщением зимой слоя льда реки и возникающими при этом в воде напряжениями. Выход на поверхность льда воды в течение зимы может повторяться. Это приводит к образованию многослойных наледей, где слои льда чередуются с водой.

Речные наледи располагаются, как в русловой части рек, так и на их берегах, особенно, если это низкие и плоские поверхности земли. В Сибири речные наледи имеют широкое распространение, имеют вид мощных потоков длиной на многие километры и мощность слоев льда более 10м.

По времени существования речные наледи, так же, как и грунтовые, бывают сезонные (однолетние) и многолетние. Замерзшие реки Сибири в зимнее время превращаются в транспортные дороги и становятся крайне необходимым путями сообщения. Возникновение в руслах рек многослойных наледей нарушает движение транспорта и делает эти ледяные дороги опасными.

Солифлюкция – это движение оттаявших глинистых пород на склонах рельефа, которые обогриваются солнцем в летнее время. Наиболее часто это происходит при уклонах более 10 град. в пылевато-глинистых грунтах, т.к. они более насыщены водой. Движение грунтов происходит по-разному: 1) медленное оползание, 2) пластично-вязкое течение и 3) жидкое течение. Солифлюкция может захватывать большие участки склонов, но глубина сползающих грунтов редко превышает 0,5м. При строительстве дорог этот процесс учитывается, т.к. в период эксплуатации он может нарушить дорожные насыпи и откосы выемок.

Термокарст – это вытаивание слоев подземного льда в вечном мерзлой толще. На участках термокарстов могут возникать провалы поверхности земли. Такие провалы проявляются в довольно неожиданно, нередко бывают в пределах дорожной полосы. Воронкообразные провалы могут заполняться водой и образовывать термокарстовые озера. Таких озер бывает довольно много в первой дорожно-климатической зоне, в частности, на севере Западной Сибири. Все это серьезно затрудняет прокладку и эксплуатацию внутрипромысловых дорог, влияет на выбор мест для небольших аэродромов.

Термоэрозия – комплексный процесс размыва дисперсных мерзлых и оттаивающих пород под воздействием временных водных потоков с образованием рытвин, промоин и оврагов. Этот процесс активно протекает в период весеннего снеготаяния в зоне развития многолетней мерзлоты, но свойственен также районам с сезонным промерзанием.

Термоэрозия определяется не только механической энергией водного потока и сопротивляемостью горных пород размыву, но и тепловым воздействием на дисперсные породы. В породах разрушаются ледяные связи между минеральными частицами. Движущиеся потоки воды разрушают породы даже при очень малых уклонах местности, около автодорог между взлетными полосами и рулежными дорожками аэродромов образуются рытвины и промоины. Со временем они разрастаются и очень затрудняют нормальную эксплуатацию сооружений.

24.3 Строительство автодорог и аэродромов в криолитозоне

Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и аэродромов в зоне вечной мерзлоты – очень сложная задача, осуществляемая по специальным нормам и правилам. Негативное влияние процессов и явлений на сооружения в этой зоне, в первую очередь обуславливается процессами оттаивания и промерзания толщ пород. В связи с этим конструкции земляного полотна автомобильных дорог и дорожных покрытий аэродромов назначают на основе теплотехнических расчетов, с учетом температурного режима и физико-механических свойств грунтов.

Проектирование дорожных сооружений проводят, руководствуясь следующими положениями: 1) мерзлое состояние грунтов под насыпью должно сохраняться в течение всего периода эксплуатации; 2) допускается оттаивание грунтов в деятельном слое под насыпями в период эксплуатации сооружения, но при условии ограничения величин осадков для конкретных

типов покрытий; 3) производится предварительное оттаивание и осушение вечномерзлых грунтов до возведения земляного полотна.

По первому принципу проектируются дороги на участках низкотемпературных мерзлых грунтов и капитальном типе дорожных одежд. Второй принцип применяют наиболее часто в качестве основного среди конкурирующих вариантов проектирования по технико-экономическим показателям. Третий принцип используют на участках вечной мерзлоты островного распространения, когда возможно заблаговременно осуществить оттаивание вечномерзлых грунтов и их осушение в пределах дорожной полосы.

При строительстве дорог в криолитозоне стремятся не делать выемок. Предпочтение отдается высоким насыпям. Лучшую устойчивость дороги проявляют на скальных, крупнообломочных и песчаных грунтах, талых грунтах. На равнинах, высоких речных террасах, водоразделах, склонах рельефа южной ориентации, рекомендуется не прокладывать дороги, т.к. возможно развитие бугров пучения.

Земляные работы в вечной мерзлоте выполняют, как в скальных грунтах. Часто используются взрывные работы, производится оттаивание мерзлоты. Наиболее неблагоприятными для проложения дорог являются болотистые и моховые тундровые равнины (мари), где мерзлая толща с включениями чистого льда лежит на небольшой глубине. На марях под насыпями нередко происходит таяние льда и дорога может деформироваться. В высоких насыпях, уложенных на мерзлый грунт, могут формироваться ледяные ядра, по которым в теплое время года сползают откосы насыпей. Опасными для проложения дорог являются термокарстовые участки

Эксплуатация дорог и аэродромов в районах вечной мерзлоты требует непрерывного контроля за состоянием пород в выемках и насыпях, постоянных профилактических и ремонтно-восстановительных дорожных работ.

Глава 25 Просадочные процессы в лессовых породах

Общие положения.

Лессовые породы – специфические горные породы, залегающие непосредственно на поверхности земли сплошным покровом на всех формах рельефа (за исключением пойменных террас речных долин и крутых склонов гор) (рис. 95). На территории России они занимают около 10% площади, в основном, на Русской, Западной и Средне-Сибирской равнинах, но и во многих местах предгорий (Кавказ, Алтай, Саяны, Забайкалье, Дальний Восток, Камчатка).

Лессовые породы достаточно широко развиты в Азии (Средняя Азия, Китай и т.д.), Европе, Северной и Южной Америках (рис.96). Лессовый покров имеет различную мощность – от нескольких метров, до десятков и даже сотен метров. В Восточном Предкавказье его мощность иногда превышает 100м, а в Китае до 400м.

В литологическом отношении лессовых пород представлены в основном суглинками, реже супесями.

Для их характера однотипная окраска – от палевых цветов до желто-бурой, иногда с красноватым оттенком. Так же однотипны их минеральный состав и структуры. В основе пород лежат кварц и полевые шпаты. Структуры всегда очень пористые (обычно более 40%), с большим количеством макропор. Цементирующей связкой структур являются глинистые минералы (преимущественно гидрослюда), карбонаты (типа кальцита) и водорастворимые минералы – соли. Такой вещественный состав обуславливает легкую разрушаемость лессовых пород в воде, но при естественной влажности хорошо держат вертикальные откосы.

Лессовые породы разделяются на *лессы* и *лессовидные породы*, которые в сравнении с лессами занимают больше площадей. Лессы – это легкие суглинки с небольшим содержанием глинистых частиц, очень легко разрушаются в воде. Лессовидные породы – это средние суглинки, а иногда даже тяжелые суглинки. Так же размокают в воде, но в сравнении с лессами несколько более водостойки.

На лессовом покрове располагаются автодороги и аэродромы. Лессовые породы служат материалом для создания земляного полотна дорог. Поэтому их свойства представляют определенный интерес для строителей дорожных сооружений.

Просадочные свойства лессовых пород. При полном водонасыщении структуры пород разрушаются, породы за счет пористости уплотняются, что находит свое выражение в опускании поверхности земли. Дорожные сооружения при этом деформируются.

Просадочными свойствами, как правило, обладают лессовые породы, залегающие в верхней части лессовых толщ (рис. 97). Эту часть толщ называют «просадочными зонами». Ниже этих зон просадочные свойства отсутствуют. Видимо они утратились в течение тысячелетий существования лессовых толщ. В толщах лессов просадочные зоны имеют мощность до 20-30 м, в лессовых породах – 10-12 м.

Лессовые породы имеют различную способность проявлять свои просадочные свойства. Поэтому по этому признаку их разделили на I-й и II-ой тип по просадочности. I-й тип характерен для лессовидных пород. Просадочные процессы проявляются при полном водонасыщении и при одновременном приложении к ним нагрузки от сооружений. Эта нагрузка ускоряет процесс разрушения структур пород. II-ой тип типичен для лессов, структура которых начинает разрушаться сразу после полного водонасыщения и под собственным весом породы. При I-м типе поверхность земли опускается на 10-15 см, а в породах II-го типа – до 80-100 см, причем просадочный процесс нередко приводит к провалам поверхности земли.

Следует отметить, что просадочные процессы не имеют площадного проявления. Они получают развитие на отдельных участках, там где в землю активно и длительно поступает вода. При эксплуатации дорожных сооружений такие процессы наблюдаются в местах с плохой планировкой земли, там где в понижениях поверхности накапливаются атмосферные воды или воды от мелиоративных работ. Вода проникает под дорожные насыпи, здания и в конечном итоге приводит к возникновению просадочного процесса.

Опыт эксплуатации дорожных сооружений показывает, что просадочные процессы на участках дорог, расположенных на лессовых породах I-го типа по просадочности, возникают редко. Это связано с тем, что насыпи не оказывают на лессовые основания большого давления. Структуры лессовых пород при этом сразу не разрушаются и если это происходит, то через очень длительное время. Иначе обстоит дело при породах II-го типа по просадочности. Обильное водонасыщение, как правило, может приводить к образованию просадочных участков, насыпи при этом оседают, дорожные покрытия деформируются и теряют горизонтальность.

При проектировании дорожных сооружений следует использовать специальные для лессовых пород нормы и технические условия строительства. Большое значение при этом имеет установление к какому типу по просадочности относятся лессовые породы района строительства.

При строительстве и эксплуатации дорожных сооружений необходимо тщательно выполнять планировку земли по бокам от земляного полотна, устраивать облицованные водоотводящие канавы. При проявлении просадок следует устанавливать причину их возникновения.

Это позволит устранять возможность последующего накопления воды на данном участке. После этого следует вновь произвести планировку земли,

восстановить водоотводящую систему, подсыпкой земли выровнять поверхность насыпи и заново оборудовать дорожные одежды